Machine Translated by Google

Forskningsartikel

SCC-udgivelse

Michelets vej 8 B
1366 Lysaker, Norge
ISSN: 2703-9072

Korrespondance:
cohler59@gmail.com

Bind 6.1 (2026)
s. 43-76

IPCC's vurdering af jordens energiubalance er baseret på Fysisk ugyldige Argo-Float-baserede estimater af Globalt havvarmeindhold

Jonathan Cohler,[1] David R. Legates,[2] Kesten C. Green,[3] Ole Humlum,[4] Franklin Soon,[5] Willie Soon[6]

[1] *Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA*
[2] *Pensioneret professor, University of Delaware, Newark, DE, USA*
[3] *Adelaide Universitet; Ehrenberg-Bass Instituttet, Adelaide, Australien*
[4] *Institut for Geovidenskab, Universitetet i Oslo, Oslo, Norge*
[5] *Marblehead High School, Marblehead, Massachusetts, USA*
[6] *Institut for Jordfysik og Rumvidenskab, Sopron, Ungarn*

Abstrakt

Globale anomalier for havets varmeindhold (OHC) og afledte estimater for Jordens Energiubalance (EEI), centrale for moderne klimavurderinger, herunder IPCC AR6, er konstrueret gennem processer, der overtræder den videnskabelige metode. Disse målinger er næsten udelukkende baseret på temperaturdata fra Argo-profileringsflydearrayet. Deres gyldighed og pålidelighed afhænger af adskillige kritiske, men heri afkræftede antagelser om målerepræsentativitet, interpolations-/ekstrapolationsmetoder, den fysiske betydning af anomalier og integrationskonventioner. Core Argo og biogeokemiske Argo-flydesystemer leverer diskrete punktmålinger af intensive egenskaber som temperatur langs uregelmæssige, usporede tredimensionelle baner under opstigning fra 2000 m til overfladen. Dette sampler kun det øvre hav, eksklusive cirka 50% af det samlede havvolumen og termisk energi. Horisontale positioner registreres kun med overfladeintervaller ~10 dage fra hinanden, hvilket efterlader underjordiske placeringer helt ukendte. Alle data fra hver opstigning tildeles vilkårligt overfladepositionen, hvilket introducerer ukendte horisontale forskydninger (op til 50 km) og tidsmæssige forskydninger (op til 10 timer) for de dybeste målinger. Anomalier beregnes ved at trække værdier fra statistisk afledte referenceklimatologier baseret på sparsomme historiske data over vilkårlige basisperioder. Målte temperaturer interpoleres derefter på globale 3D-gitre ved hjælp af foreskrevne kovariansfunktioner. Disse anomalier repræsenterer numeriske forskelle uden fysisk betydning som temperaturafvigelser, fordi temperatur, en intensiv egenskab, ikke er additiv på tværs af ikke-ligevægts rumlige eller tidsmæssige domæner (Essex et al., 2007; Essex & Andresen, 2018).

Den integrerede OHC-skalar afhænger i høj grad af vilkårlige gennemsnits- og interpolationsregler, hvilket producerer beregningsmæssige artefakter snarere end målinger af faktisk havenergioptagelse eller planetarisk strålingsubalance. Afledte EEI-værdier, såsom 0,7 ± 0,2 W mÿ² i IPCC AR6 Figur 7.2, arver disse bias og stammer fra cirkulær metode: CERES-satellittens strålingsfluxmålinger af toppen af atmosfæren (absolutte usikkerheder ± 3-5 W mÿ² eller højere) justeres via mindste kvadraters metode for at matche Argo OHC-afledte estimater i stedet for at tilbyde uafhængig validering. Vi kvantificerer grundigt de vigtigste usikkerhedskilder, herunder uafklaret mesoskalavariabilitet (± 0,9 W mÿ²), uvidenhedsgrænser for dybhavsanalyser (± 0,35 W mÿ² fra sparsom Deep Argo), polar undersampling (± 0,1 W mÿ²), Nyquist-Shannon-aliasing i sparsom dybhavs- og polarsampling, uoverensstemmelse i havniveaubudgetlukning mellem satellitaltimetri/gravimetri og Argo OHC (±0,33 W), vilkårlige baselinevalg (± 0,2 W mÿ²), Eulerian-Lagrange-uoverensstemmelser (± 0,25 W mÿ²) og usporede baner og positionstildelinger. Selvom begreberne OHC og EEI er m^{-2}termodynamisk veldefinerede fysiske størrelser, er de numeriske værdier, der produceres af nuværende Argo-baserede metoder, fysisk meningsløse beregningskonstruktioner, der ikke gyldigt repræsenterer disse størrelser. Vi konkluderer, at EEI-usikkerheder når >± 1 W mÿ² ved 95 % konfidens, omtrent en størrelsesorden større end den usikkerhed, som IPCC AR6 rapporterer, hvilket gør den aktuelle OHC-ændring og EEI-estimater statistisk umulige at skelne fra nul.

Machine Translated by Google

Nøgleord: Argo-flydninger; havets varmeindhold (OHC); Jordens energiubalance (EEI); intensive egenskaber; IPCC AR6; mesoskalavariabilitet; Nyquist-Shannons sætning; Eulerisk-Lagrangesk diskrepans; CERES Deep Argo; BGC-Argo; beregningsmæssige artefakter.

Indsendt 2026-01-15, Accepteret 2026-02-19. https://doi.org/10.53234/scc202603/06

1. Introduktion

Det globale havvarmeindhold (OHC) (dvs. globale ændringer i havets termiske energi) og afledte estimater af Jordens energiubalance (EEI) indtager en central plads i moderne klimavurderinger, herunder dem fra FN's klimapanel (IPCC, 2021). Gyldigheden og pålideligheden af disse estimater afhænger af sandsynligheden af flere nøgleantagelser vedrørende målerepræsentativitet, interpolations-/ekstrapolationsprocedurer, fysisk betydning af anomalier og matematiske konventioner for integration. I denne artikel viser vi, at disse antagelser ikke er plausible, og at selv beskedne variationer i dem kan føre til helt modsatte konklusioner vedrørende EEI. Disse størrelser understøtter påstande om oceanisk absorption af over 90 % af 'overskydende energi', der tilskrives menneskeskabt påvirkning (von Schuckmann et al., 2020).

De er dog næsten udelukkende konstrueret ud fra temperaturdata leveret af det internationale Argo profiling float array (Array for Real-time Geostrophic Oceanography; Johnson et al., 2022), som vi sætter spørgsmålstegn ved her, og vi finder, at IPCC's OHC-anomalimålinger ikke overholder væsentlige kriterier i den videnskabelige metode (Armstrong og Green, 2022) og derfor ikke er et troværdigt grundlag for politikudformning.

Core Argo og Biogeokemisk Argo (BGC-Argo) flydere2 profilerer kun det øvre hav til et nominelt tryk på 2000 dbar.3 Dette efterlader abyssalen under dette niveau, der omfatter cirka halvdelen af både det samlede havvolumen og det termiske energiindhold, stort set uprøvet bortset fra sparsomme historiske målinger og et begrænset pilotprogram af Deep Argo-flydere (Johnson et al., 2015; Purkey og Johnson, 2010). Trods deres centrale rolle i IPCC-vurderinger af menneskelige påvirkninger af klimaet, afslører vores omfattende gennemgang af den fagfællebedømte litteratur ingen forudgående fuldstændig syntese af den måle- og behandlingskæde, der er nødvendig for at evaluere de mest fundamentale trusler mod den fysiske validitet og pålidelighed af disse OHC- og EEI-estimater.

Tidligere vurderinger har behandlet aspekter af validitet, herunder usikkerheder i kortlægningen (Boyer et al., 2016), sparsom historisk dækning i fjerntliggende/polare/dybe områder (Meyssignac et al., 2019) og generelle begrænsninger i stikprøveudtagning (von Schuckmann et al., 2020). Ingen har dog i væsentlig grad behandlet grundlæggende begrænsninger, herunder tab af termodynamisk fortolkningsevne i anomalier på grund af temperaturens intensive natur (ikke-additiv på tværs af ikke-ligevægts rumlige og tidsmæssige domæner, som beskrevet i afsnit 1.2; Essex et al., 2007), dominans af interpolerede værdier

---

1Som Romer (2001) argumenterer for, bør 'varme' ikke behandles som et substantiv, der betegner et lagret stof. I denne artikel bruger vi 'varme' i sætninger som 'havets varmeindhold' udelukkende som et konventionelt synonym for termisk energiindhold, men vi hverken støtter eller er enige i denne formulering, da den unøjagtigt antyder, at varme er et stof snarere end en proces med energioverførsel.

2BGC står for Biogeochemical. BGC-Argo-flåd er udstyret med yderligere sensorer ud over de standard CTD-sensorer for ledningsevne (saltindhold), temperatur og dybde (tryk) i Core Argo-flåd. De måler biogeokemiske parametre såsom opløst ilt, nitrat, klorofylfluorescens (indikerer fytoplankton), tilbagespredning (indikerer partikelkoncentration), pH og bestråling (lysniveauer). Disse flåd er en del af det udvidede Argo-program, der sigter mod at forstå havets kemi, biologi og kulstofcykling, ud over de fysiske oceanografiske variabler, der leveres af standard CTD-observationer.

3Argo-flydere måler og rapporterer tryk i decibar (dbar). Dybden i meter udledes af trykket via den hydrostatiske relation ved hjælp af tyngdekraften og en tilstandsligning for havvand. En praktisk tommelfingerregel er 1 dbar ÿ 1 m nær overfladen, men fordi havvand er kompressibelt, og dets densitet varierer med temperatur, saltindhold og breddegrad, er kortlægningen ikke nøjagtig: 2000 dbar svarer til omtrent 2000-2025 m under typiske åbenhavforhold. Brug af dbar undgår at antyde en fast dybde for en given måling og giver en konsistent, instrument-naturlig lodret koordinat til profilering og kvalitetskontrol.

Machine Translated by Google

i usamplede volumener, uopløst mesoskalavariabilitet i grænsestrømme og hvirvelrige regioner, usporede underjordiske baner og vilkårlig positionstildeling. Disse begrænsninger stemmer overens med Essex & Andresen (2018)'s 'langsom tid'-ramme, hvor klimavariabler på lang tidsskala adskiller sig fra klimavariabler på laboratorieskala, hvilket gør temperaturen ikke-termiserbar på klimatidsskalaer. Denne artikel tilbyder den første omfattende syntese af disse problemstillinger og demonstrerer, at Argo-afledte OHC- og EEI-skalarer mangler fysisk korrespondance med virkeligheden. Selv hvis man ignorerer termodynamiske principper, overstiger de beregnede EEI-usikkerheder ved 95 % sikkerhed almindeligt citerede EEI-værdier, hvilket gør sådanne påstande uegnede til at kvantificere planetarisk energioptagelse eller ubalance.

Havet lagrer langt størstedelen af den samlede varmeenergi, der er indeholdt i Jordens klimasystem. Argo-float-data-baserede OHC-beregninger bruges som bevis for at understøtte påstande om, at cirka 90-93% af den påståede stigning i systemets varme- (energi-) indhold siden 1850 kan forklares med ændringer i OHC (von Schuckmann et al., 2020; IPCC AR6 WG1, 2021). Inden for selve havet er den vertikale fordeling af denne lagrede energi nogenlunde lige: omkring halvdelen befinder sig i de øvre 2000 m og halvdelen i dybhavet under 2000 m. Påstande om, at ~90% af den nylige påståede planetariske energiubalance er blevet absorberet specifikt i det øvre hav (0-2000 m), er også helt afhængige af de OHC-beregninger, der udfordres i denne artikel. Siden midten af 2000'erne er estimater af det globale varmeindhold i havet blevet udledt af data indsamlet af det internationale Argo-program, der består af cirka 4000 autonome profileringsflydere (~4156 pr. 28. december 2025), der måler temperatur, elektrisk ledningsevne (til saltindholdsbestemmelse) og tryk primært i de øvre 2000 m af havet (Riser et al., 2016; Johnson et al., 2022).

Disse målinger behandles i gitterfelter og integreres for at give globale OHC-anomali-tidsserier, som danner den dominerende komponent i EEI-vurderinger. IPCC's sjette vurderingsrapport (AR6) præsenterer en EEI på 0,7 (0,5-0,9) W mÿ² i sit globale energibudgetdiagram (Figur 7.2; Forster et al., 2021), en værdi tilpasset fra overfladefluxskemaer (Wild et al., 2013, 2019; Stephens et al., 2012), men afstemt med OHC-afledte opgørelser fra Argo-æraen. Disse målinger præsenteres som direkte 'observationsmæssige' begrænsninger på planetariske energistrømme, hvor usikkerheder primært kvantificeres gennem statistisk stikprøvefejl (Loeb et al., 2012; von Schuckmann et al., 2016) eller spredningen blandt adskillige udbredte, griddede OHC-datasæt (f.eks. fra produkter udviklet af IAP, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences; NCEI, National Centers for Environmental Information, NOAA; JMA/MRI, Japan Meteorological Agency / Mete-orological Research Institute; BOA_Argo, China Argo Real-time Data Center; og andre), der indfanger metodologiske forskelle i, hvordan sparsomme temperaturprofiler ekstrapoleres til globale felter (von Schuckmann et al. 2020; IPCC AR6 WG1, 2021). Trods deres fremtrædende plads er de fysiske grundlag for disse OHC- og EEI-estimater ikke blevet underkastet en grundig undersøgelse med hensyn til arten af de rå målinger og de anvendte transformationer.

Klassisk termodynamik, formaliseret i slutningen af det 19. århundrede, forbliver en hjørnesten i fysikken på grund af dens afhængighed af universelle principper snarere end specifikke mikroskopiske modeller - en robusthed, der er berømt rost af Einstein som "den eneste fysiske teori om universelt indhold, som jeg er overbevist om aldrig vil blive omstyrtet inden for rammerne af anvendeligheden af dens grundlæggende begreber" (Einstein, 1949/1979, s. 31). Faktisk har alle dens grundlæggende første principper den dag i dag modstået tidens tand. Essex et al. (2007) demonstrerer, at disse principper kombineret med grundlæggende matematik afslører grundlæggende begrænsninger i anvendelsen af intensive egenskaber som temperatur på ikke-ligevægtssystemer såsom det globale hav, hvor gennemsnitsberegning ødelægger fysisk mening og producerer beregningsartefakter snarere end reelle fysiske størrelser (som beskrevet i afsnit 1.2).

Temperatur er kun stringent defineret i lokal termodynamisk ligevægt (LTE), der udgør en punktfunktion, der udelukkende er meningsfuld for det lille volumen af væske i LTE omkring måleinstrumentet. I det ikke-ligevægtige hav forbliver horisontale placeringer under overfladen umålte og ukendte gennem hele Argo-flydecyklussen på grund af fraværet af nedsænket positioneringsinstrumentering. Efterfølgende bearbejdning introducerer interpolerede værdier, der dominerer de endelige skalære målinger. Denne artikel beskriver måle- og bearbejdningskæden og konkluderer, at Argo-afledte OHC-anomalier og EEI-estimater mangler et fysisk grundlag for at kvantificere havets termiske energiændringer eller planetarisk energiubalance.

Machine Translated by Google

1.1 Cirkulariteten og den skjulte usikkerhed ved OHC-afledte EEI-estimater

IPCC's påstand om en EEI-præcision på 0,5-0,9 W mÿ² er uforenelig med de store absolutte usikkerheder i direkte satellitmålinger af strålingsfluxer i toppen af atmosfæren (TOA) fra NASA Clouds og Earth's Radiant Energy System (CERES)-projektet, som EEI-estimatet afhænger af. Rå CERES-data viser globale gennemsnitlige netto TOA-fluxusikkerheder på ~± 3-5 W mÿ² (højere for individuelle komponenter), hvilket overskygger den øvre grænse for AR6 EEI-intervallet (Loeb et al., 2018). Tidlige analyser fandt endnu større usikkerhed omkring målingen med ubegrænsede ubalancer så store som 6,5 W mÿ² (Loeb et al., 2009). Vurderinger af overfladeenergibudgettet, der kombinerer satellit-, *in-situ*- og modelafledte fluxer, afslører uoverensstemmelser og usikkerheder på op til ± 17 W mÿ² globalt (Stephens et al., 2012).

CERES Energy Balanced and Filled (EBAF)-produktet adresserer de store absolutte usikkerheder i rå TOA-fluxe ved at anvende en "engangs global justering" på kortbølge- og langbølgekomponenter inden for deres individuelle usikkerhedsintervaller. Det bruger en objektiv mindste kvadraters algoritme (Loeb et al., 2009; 2018), der tvinger den langsigtede gennemsnitlige netto TOA-flux til at være lig med den Argo-afledte OHC-beregning plus mindre land-, is- og atmosfæretermer, hvilket giver den ~0,7 W mÿ² ubalance, der er præsenteret i IPCC AR6 figur 7.2 (Forster et al., 2021).

At opnå tallet på 0,7 W mÿ² kræver nogle aggressive justeringer: Strålingsfluxværdierne, såsom reflekteret sol, skal i nogle tilfælde presses til de yderste kanter af deres usikkerhedsintervaller for at producere en nettoflux, der er i overensstemmelse med den rapporterede lille positive nettoubalance. Der gives ingen fysisk begrundelse for retningen eller størrelsen af individuelle komponentforskydninger. Brugen af denne "engangs globale justering" antager implicit, at den Argo OHC-afledte mængde er mere pålidelig end direkte absolutte CERES-målinger, på trods af OHC-kædens grundlæggende fysiske ugyldighed på grund af termodynamisk meningsløse anomalier fra intensiv egenskabsgennemsnit i ikke-ligevægtssystemer, sparsom dyb og polær prøveudtagning og andre fejl, der er beskrevet heri.

Kort sagt er udtrykket "begrænse", der anvendes på Loeb et al. (2009; 2018) algoritmen, forkert. I videnskabelig måling stammer begrænsninger fra fysiske love, uafhængige observationer eller kendte konstanter, ikke fra at tvinge overensstemmelse med en ikke-fysisk matematisk konstruktion. Følgelig er den lille EEI (~0,7 W mÿ² i IPCC AR6 figur 7.2) og dens snævre usikkerhed (± 0,2 W mÿ²) udelukkende artefakter af cirkulær tuning: CERES-fluxer justeres matematisk for at stemme overens med den Argo OHC-afledte størrelse, hvis fysiske validitet mangler. Rå, ujusterede CERES-data bekræfter ikke uafhængigt den OHC-baserede EEI inden for deres usikkerheder. Denne IPCC-metode, eufemistisk beskrevet som "begrænsende" EEI, afhænger fundamentalt af uunderbyggede antagelser og cirkulær ræsonnement. Den IPCC AR6-påståede lille positive EEI er derfor videnskabeligt ugyldig.

1.2 Ikke-additivitet af temperatur i ikke-ligevægtssystemer

Temperatur er en intensiv termodynamisk egenskab, der kun er defineret punktvis for systemer i lokal termisk ligevægt (Reif, 1965). I ligevægtstermodynamik er intensive variabler såsom temperatur ikke additive; de kan ikke meningsfuldt gennemsnitsberegnes på tværs af ikke-ligevægtsdomæner for at give en fysisk meningsfuld global skalar (Essex et al., 2007).

Ved at bruge formel matematisk ræsonnement sammen med aksiomerne fra klassisk termodynamik beviste Es-sex et al. (2007) grundigt, at der ikke findes nogen fysisk meningsfuld global overfladetemperatur for Jordens system. Mens lokale temperaturer kan defineres for små volumener i omtrentlig termodynamisk ligevægt, opererer Jordens klimasystem langt fra ligevægt på global skala. Enhver gennemsnitsberegning af lokale temperaturmålinger, uanset den valgte matematiske procedure, mangler derfor et unikt fysisk grundlag. Der findes et uendeligt antal lige gyldige gennemsnitsberegningsmetoder, der hver især er i stand til at producere modstridende tendenser ud fra de samme underliggende data, når fysiske principper ikke dikterer en foretrukken regel.

Med udgangspunkt i dette fundament udvidede Essex og Andresen (2018) analysen til det bredere spørgsmål om passende målinger for klimaet. De beviste, at konventionelle meteorologiske temperaturbegreber, der er afledt af ligevægtstermodynamik i laboratorieskala, ikke kan

Machine Translated by Google

"termisk" eller meningsfuldt udvidet til de lange spatiotemporale skalaer, der er karakteristiske for klima. På disse "langsomme tids"-skalaer mister temperaturen termodynamisk fortolkelighed, hvilket gør globale eller endda regionale gennemsnitstemperaturer til fysisk dårligt definerede konstruktioner snarere end målbare størrelser.

Cohler (2025) giver en historisk gennemgang af, hvordan det meningsløse koncept om global middeloverfladetemperatur (GMST) blev forankret i klimavidenskaben på trods af dets ugyldighed. De simple termodynamiske og matematiske principper, der ligger til grund for ugyldigheden af temperaturgennemsnit i ikke-ligevægtssystemer som Jordens overflade, har været velforstået siden mindst slutningen af det 19. århundrede (Gibbs, 1875-1878), selvom Essex et al. (2007) var de første til at gøre dette klart i fagfællebedømt litteratur. Cohlers analyse sporer udviklingen af den fejlagtige GMST fra tidlige statistiske aggregeringer af vejrdata til dens nuværende rolle som den centrale måleenhed i klimapolitik og vurderingsrapporter. Cohler bekræfter også konklusionerne fra Essex et al. (2007) og

Essex og Andresen (2018) understreger, at GMST repræsenterer et vilkårligt statistisk gennemsnit af en intensiv egenskab over et ikke-ligevægtssystem, uden noget entydigt fysisk princip, der styrer valget mellem uendeligt mange matematisk tilladelige gennemsnitskonventioner.

Disse tre værker fastslår tilsammen, at globale temperaturmålinger, herunder GMST og relaterede anomalier, er fysisk meningsløse numeriske abstraktioner uden korrespondance med nogen bevaret termodynamisk størrelse såsom energi eller entropi. Denne grundlæggende termodynamiske ugyldighed af temperaturgennemsnit er direkte parallel med og forstærker de centrale konklusioner i denne artikel: konstruktionen af globale OHC-anomalier og afledte EEI-estimater lider af den samme fejl ud over flere andre. Begge er afhængige af ikke-fysisk gennemsnitsberegning og integration af intensive temperaturmålinger på tværs af store ikke-ligevægts rumlige og tidsmæssige domæner i havet, hvilket producerer endelige skalære størrelser, der er beregningsmæssige artefakter. Fraværet af termodynamisk betydning i globale temperaturmålinger underminerer derfor ikke kun overfladebaserede klimapåstande, men også hele kæden af OHC- og EEI-beregninger, der dominerer nutidige vurderinger af planetarisk energiubalance.

1.3 Geometri og termisk energifordeling i det globale hav

Det globale hav strækker sig over et overfladeareal på cirka 362 millioner kvadratkilometer, hvilket repræsenterer 71% af Jordens overflade, med et samlet volumen på 1330 millioner kubikkilometer og en gennemsnitlig dybde på 3688 m (Eakins og Sharman, 2010; Charette og Smith, 2010). Havtopografien omfatter forskellige træk: kontinentalsokler på dybder under 200 m, der dækker ~27 millioner kvadratkilometer (7-8% af havarealet), stejle kontinentalskråninger, der overgår til abyssalsletter på 4000-6000 m (omfattende ~40-50% af havarealet), midtoceaniske rygter og rende, der når 11.000 m (Menard og Smith, 1966; Amante og Eakins, 2009). Derudover anvendes Argo-flåd generelt ikke i områder med bunddybder mellem ca. 200 m og 2000 m, såsom kontinentalskråninger, der dækker ca. 8,5 % af havets overfladeareal og indeholder omtrent 2 % af det samlede havvolumen, for at forhindre grundstødning under deres parkerings- og profileringscyklusser (Riser et al., 2016; Costello et al., 2010).

Den hypsometriske kurve, der viser den kumulative fordeling af havareal med dybde, illustrerer den ikke-ensartede batymetri. Den gennemsnitlige dybde beregnes som det samlede volumen divideret med overfladearealet, men volumenfraktioner kræver integration af areal-dybdeprofilen:

$$V(d) = \int_0^d A(z)dz \tag{1}$$

hvor *A(z)* er havarealet dybere end z. Således udgør 2000 m ~54% af den gennemsnitlige dybde, mens volumenet over 2000 m udgør ~50% af det samlede volumen på grund af minimalt volumetrisk bidrag fra lavvandede shelder og betydeligt volumen i det øvre lag over store, dybe bassiner (Eakins og Sharman, 2010; Sverdrup et al., 1942).

Havets termiske energiindhold skaleres med volumen, densitet, specifik varmekapacitet og absolut temperatur (Kelvin). Almindeligt citerede heuristiske middeltemperaturer er ~5 °C (278 K) over 2000 m og ~2 °C (275 K) derunder, hvilket giver en relativ forskel på ~1 % (Purkey og Johnson, 2010;

Machine Translated by Google

Desbruyères et al., 2016). Kombineret med næsten lige store volumener fordeles termisk energi nogenlunde jævnt mellem øvre og dybe lag, inden for observationsmæssige usikkerheder (Talley et al., 2011; Levitus et al., 2012) i modsætning til almindelige misforståelser.

Argo float-prøvetagning fokuserer på åbne havområder dybere end 2000 m, og eksklusive stort set kontinentalsokler (27 millioner km2), randhave (f.eks. Middelhavet, Sydkinesiske Hav; i alt ~20–
50 millioner km2 eller 6-14% af havarealet), og isdækkede zoner på høje breddegrader som Arktis (14 millioner km2) (Riser et al., 2016; von Schuckmann et al., 2020). Argo udelukker derfor ~90 millioner km2 eller ~25% af det globale havoverfladeareal.

2. Argo-måleprocessen

2.1 Flydecyklus og profilering

Standard Core Argo og de fleste BGC-Argo-flydere opererer med en nominel 10-dages cyklus (Argo Steering Team, 2022). Efter en kort overfladeperiode til datasatellittransmission og GPS-positionering, synker flyderen ned til et parkeringstryk/dybde på cirka 1000 dbar på 4-8 timer, driver frit på denne dybde i cirka 9 dage, udfører en kort dyb nedstigning til profileringstrykket på cirka 2000 dbar (1-2 timer) og udfører derefter en langsom, opdriftskontrolleret opstigning til overfladen, der varer 6 til 10 timer. Højopløsningsmålinger af ledningsevne, temperatur og dybde/tryk (CTD) tages i denne opstigningsfase med samplingshastigheder på cirka 1 Hz, hvilket giver cirka 1000 diskrete trykniveauer pr. opstignings'profil' efter binning til typiske lodrette intervaller på 2 dbar i moderne dataprodukter4 (Argo Data Management Team, 2025). Flyderen forbliver på overfladen i 15 minutter til 1 time og synker derefter ned igen til sin næste passage.

Hver flåd holder omkring 4 til 5 år, afhængigt hovedsageligt af levetiden på litium-ion-batteriet.
Når batteriet er afladet, kan flyderen ikke længere justere sin opdrift og bliver permanent neutralt opdriftsdygtig uanset hvilken dybde den befinder sig i, normalt nær dens parkeringsdybde på 1000 m, og driver passivt med dybe havstrømme på ubestemt tid. Der gøres ikke forsøg på bjærgning; flyderne er designet som engangsinstrumenter, og den omkostningstunge logistiske umulighed ved at hente dem fra fjerntliggende steder i det åbne hav ville være uoverkommelig. Som et resultat bliver hver død flyder til permanent dybhavsaffald: en ~1 meter lang plastikcylinder indeholdende lithiumbatterier, metaller, elektronik og sensorer, der langsomt korroderer, hvilket tillader havvand at trænge ind over tid (typisk inden for
5-10 år), hvorefter den gradvist synker ned til den dybe havbund, hvor yderligere nedbrydning sker over yderligere år eller årtier.5

Kort sagt, de målepunkter, der blev taget under den omhyggeligt kontrollerede opstigning, følger en uregelmæssig tredimensionel bane gennem havet bestemt af dybdevarierende strømninger, vertikale

---

[4] Core Argo og BGC-Argo flydere registrerer CTD-data ved høj frekvens (~1 Hz eller omtrent hvert sekund) under deres 6 til 10 timer lange opstigning fra dybde til overfladen. Nogle flydere tager kontinuerlige prøver, mens andre foretager diskrete punktmålinger. I begge tilfælde gennemsnitsberegnes de rå data eller udvælges ombord i regelmæssige vertikale intervaller med typisk 2 decibar (dbar) trykintervaller (svarende til ~2 meters dybde) før transmission efter overfladen. Denne binding skaber standardiserede, håndterbare profiler med ~1000 niveauer over hele ~2000 dbar-området, som det bruges i alle moderne Argo-dataprodukter.

[5] Siden år 2000 har Argo-programmet indsat titusindvis af pontoner verden over (~4000 aktive på ethvert tidspunkt, med 600-900 udskiftet årligt), hvilket har forårsaget et stigende antal inaktive pontoner, der forbliver på dybden efter missionens afslutning. Selvom denne ophobning indbyder til sammenligning med orbitalaffald, er den praktiske risiko ubetydelig. Havets volumen er enormt (~1,3 × 10ÿ km³), og pontoner indsættes med en vandret afstand på ~300 km, hvilket giver en ekstremt lav tæthed (ÿ1 ponton pr. 1000 km³ på mellemdybder). Der er ikke rapporteret om kollisioner mellem Argo-pontoner og ubåde, sandsynligvis fordi dybhavstrafikken er sparsom, pontonerne er små og passive med minimal akustisk signatur, og ubåde bruger aktiv sonar til at undgå forhindringer.
Enhver hypotetisk kollision ville sandsynligvis kun forårsage mindre skade på grund af flyderens lave masse og energi. Miljøvurderinger viser yderligere, at materialer, der frigives fra Argo-flydere (f.eks. lithium, aluminium, bly), er ubetydelige sammenlignet med naturlige geokemiske strømme eller landbaseret havforurening. Mens langvarig ophobning af syntetiske materialer i dybhavet i princippet kræver opmærksomhed, udgør det nuværende omfang ingen væsentlig miljømæssig eller driftsmæssig bekymring.

Machine Translated by Google

forskydning, mesoskala hvirvler, interne bølger og turbulente bevægelser. Banen er hverken lodret eller en lineær 'hældning', men en ukendt og kompleks, meanderende kurve gennem et rumligt og tidsmæssigt varierende strømningsfelt. Hver temperaturmåling repræsenterer en sand punktværdi, den intensive termodynamiske tilstand på et specifikt sted og tidspunkt, men de rumlige koordinater for undergrundsmålinger forbliver ukendte.

2.2 Begrænsninger ved identifikation af horisontal position

Iridium-udstyrede Argo-flydere, som dominerer den nuværende flåde, bestemmer deres positioner, når de kommer til overfladen, fra GPS-bestemmelser med en nøjagtighed på ~8 m (95 % konfidens). Sjældne GPS-fejl kræver fallback til mindre præcis Iridium-geolokalisering med en nøjagtighed på ~1-5 km (Wong et al., 2020). Argo-flydere anvender intet underjordisk positioneringssystem såsom akustisk sporing eller inertial navigation (Roem-mich et al., 2009). Følgelig forbliver hele den underjordiske bane horisontalt usporet: inklusive nedstigningen, den 9-dages parkeringsdrift og den profilerende opstigning, hvorunder målingerne foretages.

De eneste målte horisontale forskydninger er nettovektorer mellem på hinanden følgende overfladepositioner, typisk spændende over 50-300 km i områder med moderat strømning og rutinemæssigt over 400 km i energiske strømme såsom den antarktiske cirkumpolare strøm (Ollitrault og Rannou, 2013).
Den vandrette forskydning i løbet af den 6-10 timer lange opstigningsfase, når temperaturerne måles, er fuldstændig ubestemt ud fra de målte data. Vi estimerer den til at være i størrelsesordenen 5-50 km, uden noget fysisk grundlag for at udlede præcise værdier.

Standard Argo-dataprodukter tildeler alle undergrundsmålinger fra en given profil til den enkelte længdegrad, breddegrad og tidspunkt for den GPS-positionering, der opnås, når flyderen kommer til overfladen (Argo Data Management Team, 2025). Den faktiske længdegrad og breddegrad af de data, der indsamles i løbet af de 9-10 dage, en flyder er nedsænket, er ukendte og ukendte, fordi flyderne ikke har instrumenter til at måle placeringen under vandet. Da forskydningsstrømmene akkumuleres under opstigningsfasen, skaleres forskydningen fra overfladens GPS-positionering med dybden: dybere målinger oplever længere eksponering for kumulative forskydningsstrømme under opstigning. Faktiske måletider under opstigning, som strækker sig over perioden på 6-8 timer, gemmes heller ikke i standardprofildataprodukter.

2.3 Arten af rå temperaturmålinger

Hver temperaturmåling repræsenterer en intensiv termodynamisk egenskab, der er direkte proportional med den gennemsnitlige kinetiske energi af partiklerne (vandmolekyler og opløste ioner) i det lille volumen havvand i lokal termisk ligevægt (LTE), der umiddelbart omgiver sensoren. I havvand er den tilsyneladende molære varmekapacitet af større salte lille og generelt negativ, så tilsætning af salt sænker den samlede varmekapacitet en smule. Fordi vandmolekyler udgør over 98 % af massen og leverer > 99 % af den termiske kapacitet, styres havvandets termiske energiindhold næsten udelukkende af vandmassen. Opløste salte påvirker primært densitet og kompressibilitet, ikke varmekapacitet. Hver måling sampler effektivt et uendeligt lille volumen i forhold til det samlede volumen.

havvolumen (~1,3 milliarder km³). Samlet set giver alle Argo-profiler over tid sparsomme punktbegrænsninger med ubetydelig direkte volumetrisk havdækning.

2.4 Begrænsninger for dybdedækning

Som beskrevet ovenfor er Standard Core- og BGC Argo-flydere designet til at profilere sig til et måltryk på 2000 dbar (Riser et al., 2016; Argo Steering Team, 2022). Denne begrænsning begrænser målingerne til det øvre hav, som udgør cirka 50 % af både det samlede havvolumen og energiindholdet. Den globale gennemsnitlige havdybde er cirka 3688 m, med den maksimale dybde på 10.984 m i Challenger Deep i Marianergraven (Gardner et al., 2014; Stewart og Jamieson, 2019). Regionen under 2000 m, der omfatter resten af bathyalzonen (1000 til 4000 m), samt abyssalzonerne (4000 til 6000 m) og hadal-/trenchzonerne (6000 til 11.000 m), forbliver uprøvet af Core Argo- og BGC-Argo-arraysene.

En lille pilotudrulning af Deep Argo-flydere er begyndt at profilere til 4000-6000 dbar (Johnson et al., 2015; Zilberman et al., 2023, 2025), men fra slutningen af december 2025 omfatter disse ~315

Machine Translated by Google

aktive Deep Argo-flydende systemer (forventet fra 224 aktive pr. marts 2025, med ~90 planlagte udrulninger frem til udgangen af 2025, ifølge rapporten fra det 26. Argo-styringsteammøde [AST-26]).
Dette er fortsat langt fra målet på cirka 1228 for angiveligt "fuld" global dækning og giver utilstrækkelig rumlig og tidsmæssig prøveudtagning til pålidelig global integration uden omfattende ekstrapolering (Zilberman et al., 2023; Zilberman et al., 2025; Argo-programstatus via OceanOPS- og AST-rapporter). Denne grundlæggende prøveudtagningsbegrænsning i Argo-afledte OHC-produkter fortsætter på trods af Deep Argo-udvidelsen.

3. Beregning af OHC-estimatet og usikkerheden

3.1 Vilkårlig positionstildeling

I næsten alle profildatafiler tildeles temperaturmålinger foretaget under opstigningen længdegrad og breddegrad for overfladepositionen (Argo brugermanual, 2025). Denne konvention ignorerer de ukendte vandrette forskydninger opstrøms på grund af de nedstrøms forskydningsstrømme, der opstår under opstigningen, samt de forskellige tidspunkter for hver enkelt måling. De største vandrette forskydninger er for målinger foretaget på de dybeste punkter, og vi estimerer dem til at være ~10-20 km i de fleste regioner og sandsynligvis ikke overstige ~30-50 km, selv i de mest ekstreme forskydningsstrømme (se afsnit 3.7.1).

3.2 Konstruktion af referenceklimatologien

Inden for oceanografi er en klimatologi (eller referenceklimatologi) en langsigtet gennemsnitlig eulersk beskrivelse af intensive haveegenskaber, såsom temperatur og saltindhold, på forskellige steder, dybder og tidspunkter af året. Den fungerer som en basislinje eller "normal" tilstand, som nuværende eller observerede forhold sammenlignes med for at beregne "anomalier" (afvigelser fra gennemsnittet). Disse anomalier bruges til at understøtte påstande om ændringer, såsom havopvarmning, men klimatologien i sig selv er ikke en øjebliksmåling af en enkelt reel havtilstand, men snarere en statistisk konstruktion udledt af historiske intensive data.

For at beregne anomalier i OHC-produkter anvendes en gitterbaseret referenceklimatologi. Roemmich-Gilson (RG) Argo Climatology (2019), der almindeligvis anvendes som reference i OHC-produkter fra Argo-æraen, er udelukkende konstrueret ud fra Argo float-data (primært 2004-2018, med udvidelser til senere år). Den giver middelfelter og den årlige cyklus på et fint gitter ved hjælp af vægtet mindste kvadraters tilpasning af nærliggende profiler. Andre klimatologier, såsom World Ocean Atlas (WOA)-serien, inkorporerer historiske observationer fra før Argo (fra skibe, flasker, XBT'er osv.) sammen med Argo-data.

For hver månedlig tidsmæssig bin i RG-klimatologien genereres værdier på et regelmæssigt tredimensionelt gitter ud fra de målte profildata ved hjælp af matematisk 'optimal' interpolation med kovariansfunktioner med foreskrevne horisontale korrelationslængder, typisk i størrelsesordenen hundredvis af kilometer (Roemmich og Gilson, 2009).

De gitterinddelte månedlige felter beregnes derefter aritmetisk gennemsnitligt over referenceperioden (2004–2018 for den nuværende version af RG Argo Climatology, 2019) for at opnå det endelige klimatologiske gitter. Den faste 2019-klimatologi for 2004-2018 er ikke opdateret med nyere observationer. Separate månedlige gitterfelter (absolutte temperatur- og saltholdighedsværdier, beregnet ved hjælp af den samme optimale interpolationsmetode) stilles til rådighed for perioder efter 2018. Fra den seneste opdatering strækker disse månedlige felter sig til juni 2025. Disse månedlige felter efter 2018 er absolutte gitterværdier (ikke anomalier). De beregnes i overensstemmelse med den metode, der blev anvendt for perioden 2004-2018, men ændrer eller inkorporerer ikke data i den faste referencegennemsnit for 2004-2018.
Produktets hjemmeside, der hostes af Scripps Institution of Oceanography (University of California, San Diego) på

https:// sio-argo.ucsd.edu/ RG_Climatology.html

distribuerer disse månedlige felter som udvidelser for at muliggøre løbende analyse i forhold til det uændrede basisgennemsnit for 2004-2018.

Machine Translated by Google

En værdi ved et hvilket som helst gitterpunkt og dybde i RG Argo Climatology er en statistisk konstruktion: det er en vægtet lineær kombination af målte temperaturer fra forskellige fysiske steder (typisk inden for hundredvis af km) og tidspunkter (inden for samme kalendermåned, op til ~30 dage fra hinanden), opnået via optimal interpolation af månedligt opdelte anomalier, efterfulgt af aritmetisk gennemsnitsberegning på tværs af år (2004-2018) for hver kalendermåned. Denne gitterværdi repræsenterer derfor ikke den faktiske temperatur, som enhver reel parcel af havvand ville have oplevet ved det nøjagtige gitterpunkt og dybde på et givet tidspunkt. Den er i stedet resultatet af den foreskrevne interpolation, vægtning og flerårige gennemsnitsberegning, der anvendes på inputmålingerne.

3.3 Fysisk meningsløshed af anomalidefinitionen

OHC-beregningen er udelukkende baseret på beregningen af temperaturanomalier, *ÿT*. I globale gitterprodukter (grundlaget for EEI-estimater) er disse defineret som *ÿT* = Tinterpoleret - Treference , hvor Tinterpoleret er en værdi udledt ved at kortlægge sparse float-data på et almindeligt gitter, og Treference er et klimatologisk gennemsnit for det samme gitterpunkt. Selvom det er aritmetisk muligt, giver denne operation et resultat, der er fysisk meningsløst af følgende årsager:

Ugyldighed af den "målte tilstand" (tinterpoleret)

Værdien Tinterpoleret fungerer som en stedfortræder for måling, men den repræsenterer ikke temperaturen af nogen faktisk vandmasse. Da Argo-flåd er sparsomme (nominelt én pr. 3° x 3° område), kræver udfyldning af et 1° x 1° gitter objektive analysealgoritmer (OA), der aggregerer data ved hjælp af kovariansskalaer på 200-2800 km og tidsmæssige vinduer på en måned. Tinterpoleret er et vægtet gennemsnit af temperaturerne i forskellige vandmasser adskilt af hundredvis af kilometer og uger.
Som fastslået af Essex et al. (2007), ødelægger gennemsnittet af intensive variabler (temperatur) på tværs af et ikke-ligevægtssystem den fysiske betydning: "En sum over intensive variabler bærer ingen fysisk betydning" (s. 5). Tinterpoleret er således en statistisk artefakt, ikke en faktisk termodynamisk tilstand af noget.

En del af problemet forbundet med at interpolere sparsomme data på diskrete gitre i både rum og tid er, at gitreopløsningen skaber modsatte udfordringer i hver dimension. Rumligt måler Argo floats typisk profiler adskilt af hundredvis af kilometer, men disse sparsomme observationer interpoleres på 1° × 1° gitre med en afstand på cirka 100 km eller mindre, hvilket skaber langt flere gitrepunkter end faktiske målinger og kræver betydelig rumlig interpolation mellem vidt adskilte observationer. Midlertidigt forekommer målinger hver 10. dag, men aggregeres i månedlige bins, hvilket skaber færre tidsmæssige bins end målefrekvensen. Denne uoverensstemmelse mellem fin rumlig gitreopdeling af sparsomme data kombineret med grov tidsmæssig binning af hyppige målinger skaber interpolationsuoverensstemmelser, der kan påvirke resultatet væsentligt. (Doswell, 1977; Wahba og Wendelberger, 1980; Wikle og Cressie, 1999).

Ugyldighed af referencestaten (Treference)

Den klimatologiske baseline- Treference (f.eks. Roemmich-Gilson-klimatologien) konstrueres ved at gennemsnitsberegne temperaturmålinger på faste geografiske steder over tid. Denne tilgang behandler havet som et eulersk felt: en ramme, hvor fluidegenskaber beskrives som funktioner af faste rumlige koordinater. Havtemperatur er dog fundamentalt set en Lagrange-egenskab; det er et karakteristikum for specifikke vandmasser, der bevæger sig, blandes og transformeres, når de føres frem af strømninger. En vandmasse ved 30°N, 150°V i januar 2005 og en vandmasse ved de samme geografiske koordinater i januar 2018 er ikke den samme fysiske enhed; de har forskellige historier, kildeområder og termodynamiske tilstande. Gennemsnitsberegning af deres temperaturer producerer en statistisk artefakt på det gitterpunkt, ikke en meningsfuld fysisk baseline. Den eulerske ramme, selvom den er matematisk bekvem til gitteranalyse, giver fundamentalt en forkert repræsentativ for den Lagrange-ske natur af havets termodynamik.

Denne eulerske-lagrangske uoverensstemmelse forværres af den valgte gennemsnitsperiodes tidsmæssige vilkårlighed. Den klimatologiske basislinje er udledt af udjævningsmålinger over perioden 2004-2018, et 15-årigt vindue, der er fysisk vilkårligt og introducerer systematiske bias i analysen. Havcirkulationen opererer på tidsskalaer, der spænder fra sekunder (turbulente hvirvler)

Machine Translated by Google

til årtusinder (termohalin cirkulation), uden fysisk betydning knyttet til et 15-årigt vindue.
Store havprocesser, herunder hvirvler på mesoskala (dage til måneder), sæsonbestemte konvektionscyklusser, El Niño-Southern Oscillation (2-7 år), Pacific Decadal Oscillation (20-30 år) og Atlantic Multidecadal Variability (50-70 år), opererer alle på tidsskalaer, der ikke stemmer overens med denne gennemsnitsperiode. Den resulterende klimatologi afspejler nødvendigvis havets specifikke dynamiske tilstand i perioden 2004-2018 (inklusive den fase, som hver oscillerende proces tilfældigvis indtog i løbet af dette interval) snarere end nogen fysisk meningsfuld ligevægtstilstand. Ikke alene gennemsnitteres målinger fra forskellige vandmasser med forskellige historier rumligt, men referencetilstanden, som anomalier beregnes i forhold til, repræsenterer i sig selv et vilkårligt øjebliksbillede af forbigående havdynamik snarere end en termodynamisk meningsfuld basislinje.

Et yderligere problem med den klimatologiske baseline- Treference er den ændrede tæthed og rumlige fordeling af flydende organismer. I 2004 var der mange færre flydende organismer tilgængelige, og rumligt dækkede deres fordeling havene mindre jævnt end i 2018.

Derudover er polarhavene fortsat markant underdimensioneret af standard Argo-opstillingen på grund af det udbredte havisdække, hvilket udelukker rutinemæssig drift af konventionelle bådfartøjer i isdækkede områder. Det Arktiske Ocean (nord for 60°N) tegner sig for ~4% (14 millioner km2) af det globale havoverfladeareal (361 millioner km²), mens Det Sydlige Ocean (syd for 60°S) omfatter ~6% (22 millioner km²), hvilket giver en samlet polarfraktion på 10% af det samlede havoverfladeareal (IHO, 1953).
Disse regioner bidrager med en andel på 7% af det samlede havvolumen givet deres mindre end gennemsnitlige dybder. Specialiserede Polar Argo-implementeringer, der bruger isundgåelsesteknologier, har forbedret dækningen i sæsonbestemte iszoner, men centrale isdækkede områder, især i Arktis, er fortsat sparsomt observerede. Disse vedvarende huller i geografiske samplinger i lavvandede randhave/sokler og polare domæner introducerer systematiske bias i estimater af globalt havevarmeindhold udledt af Argo-data, især når man konstruerer klimatologiske referencetilstande.

Abstraktion af 'Spøgelse vs. Spøgelse'.

Subtraktionsoperationen *(ÿT)* antager, at referencetilstanden (Treference) repræsenterer en meningsfuld basislinje, som ændringer kan måles i forhold til. Imidlertid varierer Treference i sig selv både i rum og tid; det er ikke en konstant ligevægtstilstand, men snarere et vilkårligt tidsmæssigt og rumligt gennemsnit af forbigående havforhold. Derfor har Treference ingen fysisk gyldighed som en referencetemperatur, hvorfra en meningsfuld *ÿT* kan beregnes , men denne operation danner grundlaget for alle OHC-anomaliberegninger.

Operationen *ÿT* sammenligner derfor to tidsvarierende, rumligt varierende statistiske konstruktioner, hvoraf ingen repræsenterer den faktiske termodynamiske tilstand af en vandmasse, men den resulterende forskel tildeles misvisende enheder af Kelvin ved rent algebraisk manipulation af dimensionelle symboler.

Den påståede OHC-anomaliskalar beregnes derefter som:

$$\Delta \mathrm{OHC} = \int \rho c_p \Delta T \, dV \tag{2}$$

hvilket resulterer i en lige så ugyldig skalar, der bærer energienheder (joule, J), og på grund af dens globale størrelsesorden udtrykkes den traditionelt i zettajoule (ZJ), hvor 1 ZJ = 10^21 J. Man kan ikke udlede en fysisk størrelse fra en beregning baseret på ikke-fysiske input, som *ÿT.* Alligevel udgør disse anomaliværdier det primære grundlag for globale estimater af OHC-ændringer i produkter fra Argo-æraen.

3.4 Rumlig interpolation af anomalier for at skabe kontinuerlige felter

Sparsomme anomaliværdier, der hver især beregnes ved den tildelte overfladeposition ud fra punkttemperaturmålinger taget langs en meandrerende prøvetagningsrute, der gennemsøges af en sensor under en 6-10 timers flydende opstigning, interpoleres på regelmæssige tredimensionelle gitre ved hjælp af objektive analysealgoritmer.
såsom 'optimal' interpolation (en form for 'kriging'), successive korrektioner eller vægtet gennemsnitsberegning (Roemmich og Gilson, 2009; Gaillard et al., 2016; Good et al., 2013). Mens flyderne nominelt er placeret ~300 km fra hinanden, med typiske måleafstande på 200-500 km på grund af drift,

Machine Translated by Google

Disse metoder anvender kovariansmodeller med horisontale korrelationslængdeskalaer, typisk i størrelsesordenen 200-2800 km, afstemt til de fysiske autokorrelationsskalaer for havtemperatur- og saltholdighedsfelter på månedlige til årlige tidsskalaer (Cheng et al., 2017; Li et al., 2017). Sådanne skalaer muliggør 'optimal' vægtning af nærliggende profiler og udbredelse af information på tværs af datahuller.

Med ~4000 aktive Argo-floats, der leverer cirka 12.000-13.000 profiler om måneden globalt (Argo-programmet, 2025), giver månedlige gitterprodukter med en vandret opløsning på 1° × 1° ~40.000–45.000 placeringer i havoverfladegitteret efter maskering af land og lavvandede områder. Polarområderne polarøst omkring ~60° breddegrad har stærkt begrænset dækning og højere usikkerhed på grund af sæsonbestemt og permanent isdække, der forhindrer flydende overfladedannelse og datatransmission. I veludvalgte områder på mellembreddegraderne resulterer dette i omtrent 3-4 gange så mange gitterpunkter som månedlige profiler. I tyndt udvalgte områder med høj breddegrad polarøst omkring ~60°N og S, med delvis dækning fra specialiserede isundgående flydende is via programmer som Southern Ocean Carbon and Climate Observations and Modeling [SOCCOM]), overstiger forholdet ofte 10-20 gange så mange gitterpunkter på grund af manglende empiriske data og større afhængighed af interpolation. De fleste almindelige rumlige interpolationsalgoritmer (f.eks. invers afstandsvægtning eller kriging med en global middelværdibaggrund) tenderer mod domænegennemsnitsværdien (eller en lokal middelværdi), efterhånden som antallet af nærliggende observationer falder, og afstanden til interpolationspunktet øges. Disse metoder er generelt ikke i stand til at udføre meningsfuld ekstrapolering ud over den observerede datas rumlige udstrækning, og i sparsomme områder vender de effektivt tilbage til et udglattet baggrundsestimat i stedet for at indfange potentielle lokale ekstremer eller tendenser, der ikke er til stede i de begrænsede stikprøver (Shepard, 1968; Willmott et al., 1985).

Logisk set kan rumlig interpolation ikke øge datasættets empiriske informationsindhold (Cover og Thomas, 2006; Shannon, 1948). Den omfordeler den begrænsede information, uden tab, fra sparsomme, diskrete punktmålinger i henhold til datadrevne kovariansstrukturer og fysiske antagelser. Der forekommer ingen ny fysisk sampling, og det samlede empiriske informationsindhold forbliver begrænset af de oprindelige ~12.000-13.000 månedlige profiler plus data fra det lille antal specialiserede isundgående flydere.

De gitterfelter er 'optimale', i statistisk forstand, estimater under de beregnede kovarianser, med en effektiv opløsning en størrelsesorden grovere end det nominelle 1° gitter (~111 km midtpunktsafstand ved ækvator), men tættere på Argo-samplingskalaen på ~300 km og valgte korrelationslængder (Roemmich et al., 2019). Gitterpunktsværdier i datahulrum er informerede ekstrapolationer, dæmpet mod den klimatologiske middelværdi (nul for anomalier), med højere tilhørende usikkerhed. Optimaliteten af disse estimater er defineret som minimering af summen af kvadrerede forskelle mellem interpolerede værdier og observationer. Generering af fejlfelter fra sådan statistik resulterer dog i systematisk undervurdering af den sande usikkerhed. Korrekt fejlvurdering kræver interpolering til tilbageholdte observationer, som algoritmen ikke har adgang til, snarere end at sammenligne estimater med de samme observationer, der bruges til at optimere interpolationsproceduren.

Præsentation af resultater som kontinuerlige gitterfelter letter visualisering, global integration (f.eks. for OHC-totaler) og sammenligning med modeller, men risikerer at give et indtryk af tættere og mere regelmæssig empirisk dækning end den eksisterende. Den underliggende information er begrænset til sparsomme profiler, og alle endelige gitterdata er interpoleret. Direkte empiriske målinger, opnået langs horisontalt meandrerende opstigningsstier, der er samplet af Argo-sensorer, dækker en ubetydelig del af havets volumen. Selv når de behandles konservativt som smalle tredimensionelle rør, er det samlede volumen, der direkte samples af alle Argo-profiler på et år, mange størrelsesordener mindre end de ~1018 m.
[3] det øvre havvolumen, hvilket giver en samplingsfraktion af orden 10-9 eller mindre. Fordi kovariant interpolation anvender korrelationslængdeskalaer i størrelsesordenen 1000 km, og fordi flere profiler inden for en gittercelle først flettes sammen for at danne en enkelt inputværdi, er hvert punkt i det endelige gitterprodukt en beregnet mængde snarere end en direkte måling.

Metodologiske valg, såsom kovariansskalaer, baggrundsfelter og inkludering af ikke-Argo-data, introducerer følsomheder i globale OHC-estimater, hvilket bidrager til interproduktspænd svarende til forskelle på ~0,1-0,5 W mÿ² i afledte EEI-tendenser på tværs af analyser (Cheng et al., 2022; von Schuckmann et al., 2023). Rapporterede usikkerheder fokuserer ofte på kortlægningsfejl inden for individuelle produkter, men kan undervurdere strukturelle bias fra disse antagelser.

Machine Translated by Google

3.5 Integration til OHC-skalar

Det interpolerede anomaligitter konverteres til en påstået energiskalar ved at gange med faste referenceværdier for havvandets densitet ÿ (1027 kg mÿ³) og specifik varmekapacitet cÿ (3985 J kgÿ¹ Kÿ¹) og derefter summere gittercellevolumenerne.

Intern termisk energi for en havvandsparcel er givet ved $U = m \times \times TK$, men beregning af *ÿOHC*
cÿ, der bruger temperaturanomalier *ÿT,* udelader det dominerende absolutte temperaturled og foretager implicitte antagelser såsom bevaret masse og konstante termodynamiske egenskaber inden for faste eulerske gitterceller - antagelser, der overtrædes i et advektionerende, blandende, åbent havsystem.
Den resulterende skalar svarer derfor til ingen fysisk energi eller energiændring i noget reelt målt termodynamisk system.

Brugen af faste referenceværdier for havvands tætheds specifikke varmekapacitet, i stedet for fuldt variable egenskaber fra TEOS-10,6, introducerer en lille yderligere metodologisk tilnærmelse (~1-3% relativ effekt på OHC, svarende til ~0,01-0,03 W mÿ² på EEI-tendenser), hvilket yderligere eksemplificerer afhængigheden af konventionelle tilnærmelser i energiomdannelsen i stedet for den fulde fysik i variable havvandsegenskaber.

3.6 Den Lagrangianske virkelighed

Et dybere termodynamisk problem stammer fra den fundamentale uoverensstemmelse mellem eulerske og lagrangske rammer. Alle nuværende Argo-afledte havvarmeindholdsprodukter (OHC) er konstrueret i en fast eulersk referenceramme: temperaturmålinger sorteres i bins, interpoleres objektivt og gennemsnitsberegnes til stationære gitterceller (typisk 1° × 1° × 2 dbar), uanset vandparcellernes baner. I virkeligheden bliver havets vandmasser kontinuerligt advektioneret af storskalastrømme, mesoskala hvirvelstrømme, fronter og turbulent blanding. Som et resultat indeholder den samme gittercelle på forskellige tidspunkter helt forskellige fysiske vandparceller uden bevaret termodynamisk identitet, der forbinder den klimatologiske basislinje med efterfølgende målinger.

Denne eulerske gennemsnitsberegning blander derfor intensive temperaturværdier fra uafhængige, ikke-ligevægtsvæskeelementer på tværs af rum og tid. Det resulterende pseudo-globale integral svarer ikke til den faktiske ændring i varmeindholdet i noget definerbart, materielt bevaret vandmassesystem. Et almindeligt modargument, at det "globale" integral omtrentligt indfanger varme, der er forskudt andetsteds, fejler, fordi Argo ikke giver direkte målinger i langt over 50% af havvolumenet (især under 2000 m, i randhave, under is og i dårligt samplede områder med høj breddegrad eller kystområder). Der er således intet virkeligt lukket, observeret system; beregningen er i høj grad afhængig af interpolation og ekstrapolation over store, ikke-samplede domæner.

En virkelig termodynamisk meningsfuld OHC ville kræve Lagrangian-sporing af de samme udviklende vandparceller langs deres baner: en tilgang, der er praktisk talt umulig på global skala på grund af usporede underjordiske baner og ekstrem spredning over flerårige tidsskalaer. Den resulterende OHC-skalar er derfor ikke et gyldigt eller pålideligt estimat af den sande havvarmelagring; i stedet er det en metodologisk artefakt domineret af vilkårlige antagelser og beregningsmæssige valg, der ikke har nogen direkte relation til den underliggende fysiske størrelse.

3.7 Estimering af usikkerhed fra rumlige og tidsmæssige stikprøvefejl

Selvom de termodynamiske argumenter præsenteret i afsnit 3.3 viser, at Argo-afledte OHC-anomalier og integrerede skalarer er fysisk meningsløse som kvantificeringer af termisk energiændring, er det lærerigt at evaluere størrelsen af talrige usikkerheder, der opstår som følge af

[6] TEOS-10 (Thermodynamic Equation of Seawater - 2010) er den internationale standard for havvands termodynamiske egenskaber, der blev vedtaget af den mellemstatslige oceanografiske kommission i 2010. Den leverer algoritmer til beregning af havvands tæthed, specifik varmekapacitet og andre termodynamiske egenskaber som funktioner af absolut saltindhold, konservativ temperatur og tryk. TEOS-10 erstattede den ældre EOS-80 (Equation of State 1980) standard og tager højde for rumlige variationer i havvandssammensætning ud over simpel saltindhold (IOC, SCOR og IAPSO, 2010; McDougall og Barker, 2011).

Machine Translated by Google

rumlige og tidsmæssige begrænsninger, og hele beregningsrammen accepteret som en empirisk konstruktion udelukkende af hensyn til argumentet.

3.7.1 Vandret fejlplacering og usporet underjordisk forskydning

Horisontal fejlplacering opstår, fordi alle opstigningsmålinger (6-10 timers varighed) tildeles vilkårligt GPS-positionen ved overfladen, på trods af advektion fra underjordiske strømme. Direkte kvantificering er umulig på grund af fraværet af sporing af underjordiske baner, men grænser kan udledes af observerede hastigheder, horisontale temperaturgradienter og publicerede OHC-følsomheder.

Underjordiske strømme ned til 2000 m varierer typisk fra 0,05-0,2 msÿ¹, med maksima på 0,5–0,8 msÿ¹ (eller højere i grænsestrømsudvidelser og forskydningszoner; Gaillard et al., 2009; Olli-trault og Rannou, 2013). For en 10-timers opstigning producerer dette netto horisontale forskydninger på ~2–7 km under typiske forhold og op til 18-29 km ved maksimale hastigheder. Et konservativt interval på 5–50 km anvendes til dybere punkter, hvilket imødekommer transient forskydning; den øvre grænse på 50 km antyder en gennemsnitshastighed på ~1,4 msÿ¹, hvilket er et godt stykke under Argos automatiske afvisningstærskel på 3,0 msÿ¹ for interprofilhastighed (Wong et al., 2025). Dette står i skarp kontrast til konventionelle behandlinger, der afviser opstigningsdrift som en "mindre forurening" begrænset til <5-10 km uden understøttende målinger (Ollitrault og Rannou, 2013).

Horisontale temperaturgradienter over disse afstande er betydelige, drevet af hvirvelstrømme på mesoskala (radier 50-200 km) og fronter, der dominerer variationen i det åbne hav (Chelton et al., 2011). Gradienter når almindeligvis 1-5 °C over 50-100 km på tværs af hvirvelstrømsgrænser eller strømningsudvidelser langs den vestlige grænse (Frenger et al., 2013; Gaillard et al., 2009), hvilket antyder temperaturtildelingsfejl på ~0,5-3 °C (eller større i energiske områder) alene på grund af positionsfejl. Tilsvarende udtværer dette målingerne over et uregelmæssigt horisontalt fodaftryk, hvilket aliaserer lokale mesoskala/sub-mesoskala gradienter (typisk 0,005-0,05 °C/km) til profilniveauusikkerheder på 0,05-1 °C.

Disse forskydninger ophæves ikke globalt i integrerede OHC- eller EEI-beregninger: forskydninger styres af lokale, ikke-stationære processer (hvirvler, fronter, turbulent forskydning) snarere end storskala symmetriske mønstre. Ved korte opstigningstidsskalaer er Coriolis-afbøjningen svag og producerer ikke modsatrettede halvkugleformede bias. I stedet introducerer aliasing fra usporede horisontale forskydninger i løbet af den 6-10 timer lange opstigning (typisk 5-50 km i områder med moderate til stærke strømme eller forskydning) usammenhængende regionale fejl, der akkumuleres i Eulerian-gitterfelter. Når det kombineres med interårlig cirkulationsvariabilitet (f.eks. ENSO, PDO-forskydninger), skaber dette en tidsafhængig metodologisk bias i OHC-tendenser. En meget grov skalering antyder, at denne effekt kan ændre de globale EEI-estimater med i størrelsesordenen 0,02-0,1 W mÿ²: lokale temperaturfejltildelinger fra forskydninger over stærke gradienter (~0,1-1°C over 10-50 km) påvirker en brøkdel af profilerne i energiområder; når den integreres over det globale hav (medregnet ikke-perfekt udligning), oversættes den resulterende OHC-trendfejl til en EEI-bias i dette område, der er sammenlignelig med eller overstiger nogle offentliggjorte ensemblespreads (±0,1-0,2 W mÿ²), som ikke tager højde for denne grundlæggende datatildelingsfejl (von Schuckmann et al., 2020, 2023). Lignende artefakter opstår fra, hvordan referenceklimatologien er konstrueret: temperaturprofiler målt på forskellige tidspunkter i løbet af hver måned samles og tilpasses statistisk (Roemmich & Gilson, 2009). Dette er et andet eksempel på, hvordan vilkårlige behandlingsvalg påvirker det endelige resultat.

3.7.2 Vedvarende stikprøvehuller og undersampling

Årlige/mellemårige kortlægnings- og stikprøvefejl

Standardfejl for årlige globale OHC-ændringer (0-2000 m) ligger i intervallet ~0,6-1,2 W mÿ² ved 95 % konfidens (~2ÿ) direkte fra usikkerheder i kortlægningen fra Argo-æraen, drevet af rumlige huller og interpolationsantagelser (Johnson et al., 2018; Meyssignac et al., 2019).

Usikkerhed i dybhavet: Artifaktisk præcision vs. fysisk uvidenhed

Machine Translated by Google

Den rapporterede usikkerhed på ± 0,04 W mÿ² for varmeoptagelse i det dybe hav (>2000 m) i von Schuck-mann et al. (2020, 2023) og efterfølgende ensembleprodukter er fysisk meningsløs som en repræsentation af sand observationsusikkerhed. Denne værdi fremgår af metodologiske artefakter snarere end direkte målinger: i store, ikke-samplede områder foreskriver analyserne en temperaturændring nær nul (stasisantagelse) eller er afhængige af klimatologisk interpolation med foreskrevet lav varians. Dette skaber cirkulær logik: mangel på data fortolkes som mangel på variation, hvilket derefter berettiger rapportering af høj præcision. Fysisk set er usikkerheden for et umålt volumen, der omfatter ~50% af havet, kun begrænset af den maksimale plausible temperaturændring (ÿTdeep), der er kompatibel med den samlede EEI. IPCC hævdede, at en EEI på 0,7 W m-2 svarer til en gennemsnitlig dybhavs-ÿTdybde på kun ~0,0003 K år-1 , hvilket er langt under detektionstærsklen for den nuværende sparsomme prøveudtagning (IPCC AR6-vurderinger markeret med rødt):

ÿTdybde = ÿUdybde / Cdybde ÿ 0,8 ZJ år-1 / 2734 ZJ K-1 ÿ 0,0003 K år-1

EEI	***Jordens overfladeareal***	***Sekunder pr. år*** ÿUEarth		**ÿUEarth**
ÿ **(0,7 W m-2)** × (5,1 x 1014 m2) × (3,156 x 107 s /år)				ÿ 11,3 ZJ år-1
ÿUEarth	***Ocean % af global EEI***	***Dybhav % af ÿOHC*** ÿUdyb ÿ 11,3 ZJ år-1		**ÿUdeep**
× **91 % 8 %**		×		ÿ 0,8 ZJ år-1
Dybhav	***Havvolumen***	***Havvandets***	***Havvands varmekapacitet***	**Cdyb**
Cdybde ÿ 50% × (1,335 x 1018 m3) ×		***densitet*** 1028 kg m-3 ×	3985 J kg-1 K-1	ÿ 2734 ZJ K-1

Selv med den seneste vækst i Deep Argo-pilotarrayet til ~315 flydende data, består begrænsningen: stikprøvetætheden forbliver omtrent 1 flydende data pr. 2-3 millioner km3 (svarende til et overfladeareal på størrelse med Alaska) af dybhavsvolumen, hvilket giver ubetydelig dækning for at begrænse den globale, volumenvægtede gennemsnitlige temperaturændring. Deep Argo-data bruges primært til regional validering eller supplement, ikke som det primære grundlag for globale fejlbudgetter i von Schuckmann et al. (2023) eller relaterede produkter, som fortsat er afhængige af gentagen hydrografi (årtiers skibsspor) og nul-antagelser i datahuller. ~315-flydende data giver ingen meningsfuld reduktion i strukturel usikkerhed for hele dybhavet; de forbliver en performativ tilføjelse, der er utilstrækkelig til at skelne små signaler (0,0003 K år-1 for 8% optagelse) fra større plausible ændringer (~0,002 K år-1 for 50% optagelse) eller nul.

Den typiske temperaturvariabilitet i abyssalen er estimeret til ÿT ÿ 0,05 K, hvilket stemmer overens med modelbaserede estimater af variation i dybhavet (Desbruyères et al., 2016). Med den nuværende Deep Argo-dækning begrænset til ~315 flydende enheder, forbliver den usamplede andel af dybhavet >0,99, hvilket giver en absolut usikkerhed på Cdeep × *ÿT* × funsampled = 2734 ZJ K-1 × 0,05 K × 0,99 ÿ 135 ZJ for dybhavets termiske energi. Over 48-årsperioden 1971-2018 kan dette omsættes til en *global ækvivalent fluxusikkerhed i dybhavet:*

135 ZJ / (48 år) × (3,156 × 107 s år-1) × (5,1 × 1014 m ^{2})) ÿ ± 0,175 W mÿ²

Når man tager højde for forstærkningen af aliasing på grund af Nyquist-Shannon-overtrædelser i sparse sampling (omtrent en faktor på 2, som vist i modelundersøgelser), estimeres usikkerheden i dybhavets uvidenhed til ~± 0,35 W mÿ², hvilket stemmer overens med tidligere studier: Purkey & Johnson (2010) rapporterer ~± 0,1 W mÿ², Zilberman et al. (2023) ~± 0,2 W mÿ² fra samplingsfejlanalyser, Meyssignac et al. (2019) ~± 0,13 W mÿ² for dybhavets bidrag til lukning af havniveaubudgettet, og von Schuckmann et al. (2023) ~± 0,1 W mÿ² for dybhavets optagelse. Ved at syntetisere disse, er usikkerheden vedrørende uvidenhed i dybhavet konservativt estimeret til ~± 0,35 W mÿ², mens den påståede ± 0,04 W mÿ² er et resultat af beregningsmæssige antagelser snarere end et mål for fysisk usikkerhed.

Undersampling af polarhavet: Forstærket uvidenhed og yderligere usikkerhed

Problemet med undersampling er endnu mere alvorligt i polarhavene (Arktis og Sydhavet, ud over ~60°N/S, inklusive isdækkede områder), som udgør ~10% af havets overfladeareal, men har et betydeligt volumen (især shelder, dybe bassiner og randhave). Standard Core Argo-flydere står over for høj dødelighed som følge af isknusning eller manglende evne til at komme til overfladen/transmittere under permanent/sæsonbestemt is; dækningen er afhængig af isundgåelsesalgoritmer, Iridium-udstyrede flydere og begrænsede Polar Argo-udvidelser (f.eks. SOCCOM i Sydhavet, SODA/GREEN EDGE i Arktis). Fra slutningen af 2025,

Machine Translated by Google

Polar Argo-prøvetagning er fortsat sparsom, med kun hundredvis af profiler indsamlet, hvilket svarer til en effektiv tæthed på omtrent én flydende masse pr. flere millioner km³ i isdækkede områder, omtrent en størrelsesorden sparsommere end det globale Argo-gennemsnit. Produkter som von Schuckmann et al. (2020, 2023) og opdateringer (f.eks. OHC-rapporter fra 2023-2025) udelukker eksplicit eller inkluderer minimalt polarområder på grund af dårlige data, men når de ekstrapoleres via klimatologi eller modeller, antager de lav variation i huller. Dette afspejler dybhavscirkularitet: fravær af målinger ÿ antager inaktivitet ÿ fremstiller høj præcision. Fysisk set indebærer polære bidrag (potentielt 5-15% af den globale EEI via cirkulation/is-interaktioner) plausible fluxækvivalenter på ~0,05-0,15 W mÿ² globalt; Sparsom prøveudtagning kan ikke detektere gennemsnitlige *ÿT*- ændringer på ~0,001-0,005 K/år på tværs af usamplede volumener, hvilket giver den reelle usikkerhed ~± 0,2-0,5 W mÿ² alene fra polarområder.

Selv pilotprojekter (isforbundne profileringssystemer, svævefly, BGC-udvidelser som SOCCOM) giver kun regionale øjebliksbilleder, ikke globale volumenvægtede begrænsninger. De ~315 Deep Argo-flydere trænger knap nok ind i de dybe polare lag, og der findes ingen fuldskala Polar Argo-opstilling til at adressere isbarrierer, høj variabilitet (f.eks. isalbedo, ferskvandsstrømme) eller sæsonbestemt utilgængelighed. Von Schuckmann-relaterede ensembler anerkender polargab som en kilde til potentiel undervurdering (10 % trendpåvirkning, hvis polaropvarmningen er signifikant), men rapporterer samlede EEI-usikkerheder på ± 0,1-0,2 W mÿ² (f.eks. 0,76 ± 0,2 W mÿ² for 2006-2020). Dette ignorerer strukturelle fejl: polare datahulrum dominerer interpolation, og antagelser om nul/lav varians undertrykker kunstigt fejlsøjler.

estimerer den samlede temperaturvariabilitet i polarhavet, da ÿT polarhavene ÿ 0,1 K. Varmeindhold i polarhavet. Vi estimeres ved C polar = mpolar $\times$ *cp* hvor

$_{mpolar}$ ÿ (25,3 × 1015 m^{3} [>60° N] + 71,8 × 1015 m^{3} [>60° S]) × 1028 kg m-3 ÿ 1,0 × 1020 kg
Cpolær ÿ 1,0 × 1020 kg × 3985 J kg-1 K^{-1} $_{ÿ 399 ZJ Kÿ¹}$

Med den nuværende polære dækning af Argo begrænset til endnu færre flydende objekter end Deep Argo, forbliver den usamplede andel af det dybe hav >0,99, hvilket giver en absolut usikkerhed for polarhavenes termiske energi på

$_{Cpolar × ÿTpolar}$ × funsamplet = 399 ZJ K-1 × 0,1 K x 0,99 ÿ 39,5 ZJ

Over den 48-årige periode 1971-2018 svarer dette til en *global fluxusikkerhed tilsvarende for polarhavet:*

39,5 ZJ / (48 år) × (3,156 × 107 s år-1) × (5,1 x 1014 m^{2})) ÿ ± 0,05 W mÿ² .

Når man tager højde for forstærkningen af aliasing på grund af Nyquist-Shannon-overtrædelser i sparsom sampling (omtrent en faktor på 2, som vist i model-subsampling-studier), estimeres usikkerheden i det polare havs uvidenhed til ~± 0,1 W mÿ².

Uopløst mesoskalavariabilitet i grænsestrømme og hvirvelrige regioner

Uopløst mesoskalavariabilitet i grænsestrømme og hvirvelrige regioner repræsenterer en væsentlig strukturel kilde til usikkerhed i Argo-afledte globale OHC-estimater og afledte EEI-værdier.
Omtrent 90 % af den samlede globale kinetiske energi i havet findes i disse hvirvelfelter (Ferrari & Wunsch, 2009). Disse områder, herunder Golfstrømmen, Kuroshio-udvidelsen, den Antarktiske Cirkumpolarstrøm og Agulhasstrømmen, udviser intense, småskala (10-200 km) udsving i temperatur, saltindhold og hastighed drevet af hvirvler, fronter, meandere og ustabiliteter. Den kinetiske energi i havstrømmene er størrelsesordener mindre end den termiske energi, der er lagret i vandet, men disse strømme transporterer enorme mængder termisk energi. Core Argos sparsomme prøveudtagning (~4000 flydere, med en typisk afstand på ~300 km) formår ikke at løse disse træk, hvilket fører til store lokale rodmiddelkvadratfejl (RMSE) i det kortlagte varmeindhold svarende til >100 W mÿ² overfladeflux i energiske zoner.

Når disse lokale fejl aliaserer til globale integraler (fejlagtigt repræsenterer højfrekvent variation som lavfrekvente signaler), forplanter de sig som resterende interårlig støj eller usikkerhed i den globale gennemsnitlige OHC-trend eller EEI-estimater givet en groft under- eller fuldstændig usampleret andel af det samlede globale hav. Energi bevares i det samlede volumen, ikke i den Argo-samplede andel.
Meyssignac et al. (2019) bemærker, at:

Machine Translated by Google

> *"Det er mere udfordrende at estimere usikkerheden i OHC-ændringer på tidsskalaer mellem år på grund af utilstrækkelig spatiotemporal dækning. Indtil videre har få undersøgelser givet estimater. Estimater af årlige OHC-ændringer for 0-2000 m har standardfejl på 0,3-.*"
> *0,6 Wm–2* [1ÿ] *i løbet af Argo-æraen, og disse fejl stiger betydeligt i perioden før Argo (Johnson et al., 2018, deres figur 2)."* (s. 11)

Vi anvender også 0,6-1,2 W mÿ² som 2ÿ-værdien for den uafklarede mesoskala-usikkerhed. Denne usikkerhed alene er sammenlignelig med eller overstiger de rapporterede centrale EEI-værdier (0,7 W mÿ²), hvilket betyder, at globale OHC-udsving fra år til år domineres af prøveudtagningsartefakter snarere end reelle fysiske ændringer.

Denne usikkerhed opstår, fordi kortlægnings-/interpolationsordninger (f.eks. optimal interpolation, maskinlæringsregressioner) skal fylde enorme usamplede volumener med antagne kovariansstrukturer, der ikke formår at indfange den fulde amplitude og spektrum af mesoskalaaktivitet i de stærke grænsestrømme i havbassiner. Højopløsningsmetoder (f.eks. satellitaltimetri + in situ-blanding) reducerer, men eliminerer ikke problemet, da Argo forbliver den primære begrænsning i undergrunden. Lignende intervaller vises i relaterede værker om kortlægningsusikkerheder, OHC-produkter med høj opløsning og gennemgange af Argo-begrænsninger (f.eks. Lyman & Johnson, 2023 om Random Forest Regression Ocean Maps [RFROM]; bredere diskussioner i Meyssignac et al., 2019, von Schuckmann et al. ensembler, og Wang et al., 2018). Wang et al. advarede om, at *"[D]ata i Argo-perioden er stadig utilstrækkelige til at observere mesoskala-hvirvler*

> *og OHC-ændringer relateret til vejrfænomener"* (s. 2485).

3.7.3 Vilkårlige behandlingsvalg og metodologiske artefakter

Strukturelle/ metodologiske spredninger på tværs af Argo-baserede OHC-produkter

Sammenligninger af flere Argo-baserede in situ-kortlægninger, såsom dem fra IAP, EN4, Ishii, NOAA NCEI, BOA, SCRIPPS, IPRC, MOAA, SIO og andre, viser spredninger i havets varmeoptagelse (OHU ÿ EEI proxy) på 0,23-0,56 W mÿ² for tendenser fra 2005-2019, med større årlige variabilitetsspredninger på grund af forskellig kvalitetskontrol, klimatologier og kovariansvalg (Hakuba et al., 2024). For eksempel varierer de globale OHC-tendenser i de øvre 2000 m i den Argo-dominerede periode (2005-2019) på tværs af otte objektive analyseprodukter (f.eks. BOA: 3,6 ZJ årÿ¹ i 0-300 m; EN4: 4,1 ZJ årÿ¹), hvilket giver spreads på ~0,5 ZJ årÿ¹ (0,1 W mÿ² EEI-ækvivalent) i lagspecifikke rater, hvor EN4 ofte er en outlier på grund af stærkere opvarmningssignaler (Bilgili, 2025).

Nylige opdateringer, såsom IAPv4 (10,7 ± 1,0 ZJ årÿ¹ for 2005-2023 øvre 2000 m) versus IAPv3 (9,6 ± 1,1 ZJ årÿ¹), viser ~11% forskelle, der kan tilskrives bias-korrektioner og datahåndtering, hvilket oversættes til EEI-spredninger på ~0,1-0,2 W mÿ² på tværs af datasæt (Cheng et al., 2024a). Disse uoverensstemmelser stammer fra vilkårlige metodologiske valg i interpolation, gennemsnitsberegning og assimilering, på trods af delte rå Argo-input, hvilket giver direkte bevis for iboende usikkerhed i selve metodologierne. Disse uoverensstemmelser stammer fra vilkårlige metodologiske valg i interpolation, gennemsnitsberegning og assimilering, på trods af delte rå Argo-input, hvilket giver direkte bevis for iboende strukturel usikkerhed i selve metodologierne og tilføjer systematisk, uudbredt bias svarende til ~± 0,2-0,5 W mÿ² eller mere.

Vilkårligt valg af basisdatointerval

En ændring i det klimatologiske datointerval, der anvendes til beregning af OHC-anomalier fra Argo-data, kan introducere betydelige forskelle i den implicitte EEI, typisk i størrelsesordenen ~0,1-0,3 W mÿ² (systematisk spredning) for årtietrends, som det fremgår af følsomhedsanalyser af objektive kortlægningsmetoder, hvor klimatologiske valg er en primær bidragyder til fejl (f.eks. Boyer et al., 2016; Lyman & Johnson, 2014). Dette opstår, fordi forskydning af referenceperioden (f.eks. fra 2004-2018 til 2005-2019 eller senere Argo-æra-vinduer) kan aliase forskellige faser af årtiets variation, såsom PDO eller Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO), ind i baseline-gennemsnittet, hvilket fører til forskydninger i OHC-estimater, der forplanter sig til EEI, især når kortlægningsmetoder slapper af til det klimatologiske gennemsnit i datasparsomme regioner, hvilket gør EEI-påstande med fin opløsning følsomme over for vilkårlig baselinevalg.

Machine Translated by Google

Eulerisk vs. Lagrange-rammeværk og resulterende usikkerhed

Regionale Lagrange-analyser af havcirkulation og varmetransport afslører betydelige afvigelser med traditionelle eulerske OHC-estimater. Disse analyser er baseret på højopløselige, havbaserede hindcast-simuleringer (hvirvelbevarende til hvirvelrige NEMO/ORCA-konfigurationer tvunget af atmosfæriske reanalyser), ikke på koblede globale generelle cirkulationsklimamodeller (GCM'er). I modsætning til CMIP-lignende GCM'er, som lider af koblede atmosfære-/havfeedbacks, omfattende parametrisering af uløste processer (skyer, konvektion, blanding), den grundlæggende fysiske meningsløshed af GMST på grund af rumlig temperaturgennemsnit og iboende strukturelle usikkerheder i langsigtede fremskrivninger, er disse hindcasts stramt begrænset til at reproducere observeret historisk variation og fokuserer udelukkende på den faktiske fysik i havadvektion og varmetransport på regional skala. De arver derfor ikke de grundlæggende termodynamiske og gennemsnitsproblemer, der rammer globale koblede GCM'er eller eulerske OHC-produkter.

For eksempel brugte Tooth et al. (2024) vandpakkebaner i en hvirvelrig hindcast til at nedbryde meridional energitransport ved 26,5°N i Atlanterhavet og fandt, at recirkulerende pakker i den subtropiske gyre tegner sig for 37 ± 9% af den samlede energitransport, et bidrag som Eulerianske vertikalt-horisontale dekomponeringer ofte tilskriver forskelligt eller undervurderer på grund af deres faste gittergennemsnit over ubeslægtede vandmasser. Lignende Lagrange-dekomponeringer i den østlige nordatlantiske subpolare gyre (Tooth et al., 2023) og andre regioner fremhæver, hvordan Eulerianske metoder blander signaler fra advektionerende, ikke-konserverede pakker, hvilket fører til forskelle i udledte varmeoptagelsesveje og størrelsesordener, der kan nå 30-50% regionalt.

Disse uoverensstemmelser indebærer betydelig usikkerhed, når regionale eulerske OHC-estimater ekstrapoleres til globale skalaer. Alene i Atlanterhavet ved 26,5°N svarer attributionsforskellen på 30-40% til ~0,1-0,2 PW (petawatt) i varmetransportusikkerhed (baseret på typisk total meridional varmetransport ~1-1,5 PW på den breddegrad). Globalt skaleret (i betragtning af at Atlanterhavet bidrager med ~25-30% af havets samlede varmeoptagelse) udleder vi dette konservative interval ved at konvertere de estimerede transportuoverensstemmelser direkte til globale energifluxækvivalenter. En systematisk fejl på ~0,1-0,2 PW, når den fordeles over Jordens overfladeareal ($5,1\times10^{14}$ m²), giver en baseline-bias på cirka 0,2-0,4 W mÿ². For at tage højde for potentielle delvise kompensationer mellem bassincirkulationer, samtidig med at vi anerkender størrelsen af den atlantiske bias, anvender vi 0,1-0,4 W mÿ² som et robust estimat af den strukturelle usikkerhed, der er forbundet med eulerske varmebudgetlukninger. Denne usikkerhed er ikke indfanget i nuværende ensemblespreads (± 0,1-0,2 W mÿ²), da de er afhængige af korrelerede eulerske produkter og ikke tager højde for Lagrange-rammens fundamentalt anderledes syn på varmeveje og bevarelse.

3.7.4 Manglende uafhængighed i ensembler og konsensusbaseret overforenkling

Den rapporterede EEI-usikkerhed på ± 0,2 W mÿ² (IPCC AR6 Figur 7.2: 0,7 W mÿ², interval 0,5-0,9 W mÿ²) er baseret på tilsyneladende konvergens på tværs af OHC-produkter (IAP, NOAA/NCEI, EN4, Ishii). Denne konvergens kvantificerer dog ikke den samlede usikkerhed, fordi produkterne mangler uafhængighed.
Alle større OHC-estimater fra Argo-æraen deler ~90% af deres rå input fra de samme ~4000 floats (Riser et al., 2016). Forskellene stammer udelukkende fra variationer i forarbejdningen: klimatologiske basislinjer, der adskiller sig med 15 år mellem IAPv3 (1990-2005) og IAPv4 (2006-2020), betydelige forskelle i kvalitetskontroltærskler og ukvantificerede kovariansradier i kortlægningen (Cheng et al., 2024a). Med korrelationer ÿ > 0,8 reduceres det effektive antal uafhængige prøver til ~1-2, hvilket overtræder den centrale grænseværdisætning. Ensembleusikkerheden approksimerer således enkeltproduktusikkerheden i stedet for at reduceres med ÿN (hvor N = 4 til 6 i de fleste OHC-ensembleestimater af EEI).

Systematiske bias i almindelige tilstande underminerer yderligere pålideligheden. Bias i Argo-saltindhold, primært på grund af sensordrift i ledningsevnecellerne i CTD-sensorer (primært Sea-Bird SBE 41/41CP), påvirker langt de fleste profiler. Ifølge en detaljeret evaluering af rå Argo-saltindholdsdata fra 2000-2021 har cirka 90 % af de profiler, der kræver justering, drift af lille størrelse (<0,03 psu), mens 2-3 % udviser mere alvorlig drift (>0,05 psu). En særlig bekymrende episode fandt sted i 2017-2018, hvor ~17 % af de årlige profiler viste justerbar positiv (salt)

Machine Translated by Google

drift, der toppede på grund af en midlertidig produktionsfejl i indkapslingsmaterialet, der blev brugt i CTD'er, der blev implementeret omkring 2015-2018 (Wong et al., 2023).

Disse udbredte og tidsmæssigt korrelerede bias deles på tværs af den globale Argo-flåde på grund af lignende sensorteknologi. Hvis de ikke justeres eller ikke korrigeres fuldstændigt, introducerer de falske saltindholdsforøgelser i rådata, som forplanter sig til densitetsberegninger via tilstandsligningen.
Dette skaber kunstige (falske) halosteriske havniveausignaler, der forurener steriske højdeprodukter. Selvom OHC i sig selv kun beregnes ud fra temperaturanomalier, forvrænger de resulterende falske tætheds-/steriske tendenser valideringen af OHC mod uafhængige observationer (satellithøjdemåling + gravimetri), forårsager manglende lukning af det globale havniveaubudget og øger den systematiske usikkerhed i at tilskrive observeret havniveaustigning til reel termosterisk havvarmeoptagelse. Forsinket kvalitetskontrol afhjælper de fleste problemer, men resterende uopdaget eller ukvantificerbar bias fortsætter, hvilket tilføjer systematisk usikkerhed til globale havtilstandsestimater, herunder varmeindhold og havniveau.

Kortlægningsartefakter bidrager med ± 0,2-0,5 W mÿ² regionale fejl (f.eks. Sydhavet), der spreder sig til ~0,1 W mÿ² globalt (Gregory et al., 2014). Interproduktspredninger på 0,1-0,2 W mÿ² (2005-
Tendenser i 2018: 0,54-0,64 W mÿ²) afspejler metodologisk konsistens, ikke robusthed (Cheng et al., 2022). Alle produkter antager isotropisk kovarians og undervurderer bias i hvirvelrige områder (± 0,05-0,1 W mÿ²). Usikkerheder i dyb hydrografi tilføjer ± 0,3-0,5 W mÿ² (Garry et al., 2019), og lukning af havniveauet introducerer en usikkerhed på ± 0,29-0,37 W mÿ² (Meyssignac et al., 2019).

CERES TOA's årlige gennemsnitlige usikkerheder for global nettoflux er i størrelsesordenen ± 4 W mÿ² (Loeb et al., 2018), med en interårlig variation på typisk ± 1-2 W mÿ² drevet af ENSO og skyeffekter (Loeb et al., 2021). Varmeindholdet i det øvre hav (OHC; 0-700 m) er blevet undervurderet med ca. 20-40% på grund af observationshuller, især på den sydlige halvkugle (Durack et al., 2014). Usikkerheden i den dekadale EEI-trend fra CERES domineres af systematiske fejl (ÿ0,1 W mÿ² dekadÿ¹ fra instrumentstabilitet og -drift; Loeb et al., 2021; Raghuraman et al., 2021) og intern variabilitet, med en total usikkerhed sammenlignelig med selve den observerede trend (0,50 ± 0,47 W mÿ² dekadÿ¹ over Argo-æraen fra 2005 til 2019; Loeb et al., 2021). Mens udvidede CERES-registreringer (2001-2024) indikerer en statistisk signifikant lineær trend på 0,45 ± 0,22 W mÿ² dekadÿ¹ ved 95 % konfidens (Loeb et al., 2024), udviser det kortere Argo-æra-interval en tendens, hvor usikkerheden forbliver sammenlignelig i størrelsesorden med selve signalet, hvilket fremhæver vanskeligheden ved at detektere acceleration.

Præsentationen i figur 7.2 forværrer disse problemer ved at vise EEI som en enkelt værdi uden tidsskala-kvalifikatorer, hvilket antyder universel præcision, der skjuler højere årlige/interårlige usikkerheder, der er anerkendt andetsteds i AR6-teksten. Denne overforenkling fremmer overdreven selvtillid, da det snævre interval maskerer korrelerede antagelser, gap-inducerede fejl og de grundlæggende begrænsninger ved sparsom Argo-sampling.

3.7.5 Nyquist-Shannon-sætning og aliasing i Argo-data

Underafsnit 3.7.2 kvantificerer allerede usikkerheden fra uløst mesoskalavariabilitet i hvirvelrige regioner (herunder grænsestrømme som Golfstrømmen, Kuroshio-udvidelsen, den antarktiske cirkumpolare strøm og Agulhas-strømmen), hvor sparsom Argo-prøvetagning ikke formår at løse 10-200 km udsving, hvilket fører til lokale RMSE >100 W mÿ² i energiske zoner, der forplanter sig via aliasing til globale integraler som resterende interårlig støj eller usikkerhed i størrelsesordenen ~0,6–
1,2 W mÿ² (2ÿ) for globale OHC-tendenser eller EEI-estimater. Denne diskussion fremhæver praktiske observations- og interpolationsbegrænsninger, men påberåber sig ikke eksplicit det grundlæggende signalbehandlingsprincip, der er ansvarligt for aliasing: Nyquist-Shannon sampling-teoremet (Shan-non, 1949). Sætningen pålægger irreducerbare grænser for detekterbare rumlige og tidsmæssige frekvenser, uafhængigt af kortlægningskvalitet eller statistiske antagelser. Højfrekvente signaler (fra mesoskala-hvirvler og mindre elementer) bliver uundgåeligt misrepræsenteret som laverefrekvente, når samplinghastigheder i væsentlig grad overtræder Nyquist-kriteriet om, at samplingfrekvensen skal være mindst dobbelt så høj som den højeste signalfrekvens.

Dette underafsnit bygger derfor på underafsnit 3.7.2 ved at give det teoretiske grundlag for

Machine Translated by Google

Aliasing er allerede kvantificeret der. Desuden identificerer den yderligere strukturelle usikkerheder, der opstår som følge af sætningsbrud i regioner med endnu mere sparsom effektiv prøveudtagning (dybhavs- og polarområder), hvor Nyquist-grænserne overskrides mere alvorligt.

Argos målrettede horisontale afstand (300 km gennemsnitlig afstand) og 1° gitteropløsning giver en rumlig Nyquist-bølgelængde på ~200 km, der marginalt opløser store mesoskala-træk, men aliaser mindre hvirvelstrømme/submesoskala-variabilitet (<50-100 km). Midlertidigt begrænser 10-dages cyklussen opløsningen til perioder ÿ20 dage, hvilket aliaser hurtigere processer (f.eks. hvirvelstrømspassager på 5-15 dage). Disse grænser forklarer aliasing-mekanismen i underafsnit 3.7.2, men tilføjer ikke ny global usikkerhed ud over den, da den primære mesoskala-energidominans (~90% af havets kinetiske energi i geo-strofiske hvirvelfelter; Ferrari & Wunsch, 2009) allerede er indfanget.

Nyquist-begrænsninger i dybe og polare oceaner

Sætningens begrænsninger bliver særligt alvorlige i dybhavet (>2000 m, ~50 % af havets volumen) og polover for 60° N og S (~10 % af havets overfladeareal og ~7 % af volumen), hvor sparshed i sampling presser Nyquist-bølgelængder langt ud over mesoskalaskalaer, hvilket forværrer aliasing og giver yderligere usikkerhed, som ikke er fuldt ud dækket i tidligere underafsnit.

Core Argo-floats giver ingen data under 2000 m. De nuværende pilotprojekter med dybde på ~315 Deep Argo-floats resulterer i effektive intervaller på ~900 km, hvilket giver Nyquist-bølgelængder ~1800 km. Højfrekvente dybhavsprocesser (abyssale hvirvelstrømme, interne bølger, bundvandsdannelse på skalaer på ~100-500 km) er således aliaserede eller uopdagelige. Modelstudier indikerer, at sådan sparsitet folder dybe signaler til tilsyneladende tendenser på bassinskala (Purkey & Johnson, 2010; Zilberman et al., 2023). Nyquist-Shannon-sætningen belyser derfor en nøglemekanisme, der bidrager til vores estimerede uvidenhedsgrænse for dybhavet på ÿ± 0,3 W mÿ²: den irreducerbare foldning af uopløst højfrekvent variabilitet til genopløste lavfrekvente signaler på grund af sætningsbrud fra ekstrem sparsitet. Denne aliasing-effekt, estimeret til ~± 0,2-0,4 W mÿ² i modelbaserede analyser af sparsom dybhavsprøvetagning, er ikke en separat tilføjelse, men en specifik manifestation af den bredere fysiske uvidenhed, der forfiner og bekræfter vores grænse. Dette forstærker vores konklusion om, at dybe OHC-usikkerheder på ± 0,04 W mÿ² givet af von Schuckmann et al. (2020/2023) er urealistisk snævre og i høj grad afhænger af antagelser om lavvariansinterpolation, der ignorerer både den generelle mangel på observationsbegrænsning og den grundlæggende aliasing, der pålægges af Nyquist-grænserne.

Polarregioner lider alle af kronisk undersampling (<10 % i arealdækning med Argo og <<1 % i volumen på grund af is og logistik; Riser et al., 2016) med intervaller >500 km og Nyquist-bølgelængder >1000 km. Dette formår ikke at løse højfrekvent polar variation (polynyer, smeltefaner fra ishylder, hurtige frontforskydninger ved ~10-100 km). Temporal aliasing forværres, når den 10-dages cyklus mangler hurtige is-hav-interaktioner (f.eks. døgnblanding af tidevand).

Implikationer for global OHC og EEI

Nyquist-sætningen giver den fysiske begrundelse for den mesoskala-aliasingsusikkerhed, der allerede er kvantificeret i underafsnit 3.7.2. I undersamplede dybe og polære volumener introducerer den lignende store usikkerheder beskrevet ovenfor på ÿ± 0,3 W m-2 for dybe ikke-polære have og ÿ± 0,1 W for polare have. Nuværende vurderinger m^{-2} overser disse grundlæggende samplingsbegrænsninger og behandler OHC som for præcis. Tættere arrays kunne afbøde dette, men Nyquist-grænserne forbliver ureducerbare med den nuværende metode.

3.7.6 Kvantitativ opsummering af usikkerhedsbidrag

Kombination af alle identificerede fejlkilder giver en konservativ usikkerhed på 95 % for årlig til årti EEI, der langt overstiger ± 1 W mÿ². De vigtigste bidragydere inkluderer:

a. *Uopløst mesoskalavariabilitet* i grænsestrømme og hvirvelrige områder, der forplanter sig til interårlig global støj på ~0,6-1,2 W mÿ² (2ÿ parametrisk/interårlig støj).

b. *Vedvarende prøveudtagningshuller i det dybe hav* (>2000 m), der introducerer fysiske uvidenhedsgrænser på ~± 0,35 W mÿ² på grund af staseforudsætninger og sparsom dækning (~315 Deep Argo

Machine Translated by Google

projicerede flydere, ubetydelig densitet).

c. *Højdemåling og massebudgetusikkerhed* på ~0,29-0,37 W m-2 på grund af uoverensstemmelsen mellem OHC-implicit havniveauændring og satellitaltimetri/gravimetrimålinger.

d. *Strukturelle uoverensstemmelser mellem eulerske og lagrangske rammer,* hvilket antyder potentielle globale bias på ~0,1-0,4 W mÿ² fra blanding af ikke-konserverede vandparceller.

e. *Vilkårlige baseline-/ klimatologiske* valg, som forskyder årti-tendenser med ~0,1-0,3 W mÿ² på tværs af rimelige Argo-æra-vinduer.

f. *Vedvarende prøvetagningsgab i polarområderne/ områderne på høje breddegrader,* hvilket introducerer fysiske uvidenhedsgrænser på ÿ± 0,1 W mÿ² på grund af sparsom dækning og isbarrierer, der forhindrer flydende organismers overlevelse/transmission.

g. *Horisontal forskydning* og usporet underjordisk forskydning under opstigning, hvilket producerer potentielle metodologiske bias på ~0,02-0,1 W mÿ² eller mere fra aliasing af lokale gradienter.

Tabel 1. Kvantificerede kilder til usikkerhed og bias i Argo-baserede EEI-estimater

En konservativ opsummering af de vigtigste usikkerheds- og biaskilder, der bidrager til EEI-estimater udledt af Argo-baserede OHC-beregninger på årlige til årti-tidsskalaer. Den samlede sammensatte usikkerhed overstiger de rapporterede værdier med en størrelsesorden. Alle intervaller repræsenterer konservative estimater med en konfidens på ca. 95 %. Et konservativt estimat af den samlede sammensatte usikkerhed med den nedre grænse kan illustreres via rodsumkvadrat (RSS) syntese af de ovennævnte komponenter, selvom denne metode kun er strengt gyldig for uafhængige, gaussiske fejl. Ved at tage midtpunktsværdier: ÿ(0,9²+0,35²+0,332+0,25²+0,22+0,1²+0,06²) ÿ 1,1 W mÿ² med en konfidens på ca. 95 %. Denne RSS-tilgang undervurderer dog systematisk den samlede usikkerhed, fordi: (1) strukturelle og uvidenhedsled (b, c, e, f) repræsenterer faste grænser snarere end gaussisk målespredning, hvilket kræver lineær snarere end kvadratisk aggregering; (2) stikprøvehuller (b, f) deler fælles eksklusionsårsager, hvilket skaber positiv korrelation, som overtræder RSS-uafhængighedsantagelser; og (3) eksplicitte systematiske biaser (d, g) er retningsbestemte forskydninger, der ikke tilfældigt annullerer. En mere realistisk syntese, der behandler strukturelle termer som delvist additive, giver ÿ± 1 W mÿ² ved 95% konfidens som en konservativ nedre grænse.

Kilde	*Usikkerhed/ bias ± (W m-2)*	*Type*
a. *Uopløst mesoskalavariabilitet* i grænsestrømme og hvirvelrige områder	~0,6–1,2 (2ÿ)	Parametrisk/interårlig støj
b. *Vedvarende stikprøvehuller:* dybhav (>2000 m)	~0,35	Strukturel/fysisk uvidenhed
c. *Højdemåling og usikkerhed i massebudgettet*	~0,29–0,37	Strukturelt/lukningsproblem
d. *Strukturelle uoverensstemmelser mellem eulerske og lagrangeske rammeværker*	~0,1–0,4	Rammebias
e. *Vilkårlig basislinje/ klimatologi*	~0,1–0,3	Behandling af artefakt
f. *Vedvarende stikprøvehuller:* polare/høje breddegrader	~0,1	Strukturel/fysisk uvidenhed
g. *Horisontal forskydning* og usporet forskydning af undergrunden under opstigning	~0,02–0,1	Metodologisk bias
Total sammensat (95% konfidens)	*ÿ± 1*	*Samlet set*

Machine Translated by Google

Disse usikkerheder forværres af manglende uafhængighed i OHC-ensembler (fælles input, høje korrelationer ÿ > 0,8, effektiv N ÿ 1-2) og common-mode-systematik (f.eks. saltindholdsbias, interpolationsartefakter), hvilket giver rapporterede værdier på ± 0,1-0,2 W mÿ² (f.eks. von Schuckmann et al., 2023; IPCC AR6 Figur 7.2) kun gældende for parametrisk varians inden for produktet under optimistiske gap-ekstrapolationsantagelser. Dette snævre interval ekskluderer alle usikkerheds-/biaskilder kvantificeret ovenfor.

Et konservativt estimat af den samlede usikkerhed i den nedre grænse kan illustreres via rodsumkvadrat (RSS) syntese af de ovenfor anførte komponenter, selvom denne metode kun er strengt gyldig for uafhængige, Gaussiske fejl (Taylor, 1997, kapitel 3; Trenberth, 2009). Med midtpunktsværdier: ÿ(0,9²+0,35²+0,332+0,25²+0,22+0,1²+0,06²) ÿ 1,1 W mÿ². Denne RSS-tilgang undervurderer dog faktisk den samlede usikkerhed, fordi: (1) strukturelle og uvidenhedstermer (b, c, e, f) repræsenterer faste grænser snarere end Gaussisk målespredning, hvilket kræver lineær snarere end kvadratisk aggregering; (2) samplinggab (b, f) deler fælles eksklusionsårsager, hvilket skaber positiv korrelation, som overtræder RSS-uafhængighedsantagelser; og (3) eksplicitte systematiske biaser (d, g) er retningsbestemte forskydninger, der ikke tilfældigt ophæver hinanden. En konservativ syntese, der behandler strukturelle termer som delvist additive, giver ÿ± 1 W mÿ² ved 95% konfidens.

Denne samlede usikkerhed på 95 % konfidens (ÿ± 1 W mÿ²) overstiger usikkerheden i IPCC AR6 EEI-estimatet på 0,7 ± 0,2 W mÿ² (Figur 7.2) med en størrelsesorden. Når strukturelle fejl såsom ikke-additive intensive anomalier, dominerende interpolation i usamplede volumener, uoverensstemmelser i rammeværket, usporede baner og vilkårlig positionstildeling tages nøje i betragtning, bliver det centrale estimat statistisk umuligt at skelne fra nul på årlige til årtilange tidsskalaer. Den fortsatte præsentation af snævre usikkerheder som observationelle udgør derfor en kritisk overdrivelse af målekapaciteten, hvilket tilslører grundlæggende begrænsninger i sparsom Argo-sampling, dyb og polær undersampling, mesoskala-aliasing og vilkårlige behandlingsvalg.

Denne samlede usikkerhed gør også CERES EBAF-justeringer (tvunget til at matche OHC-afledt EEI) cirkulære og artefaktuelle, da rå absolutte CERES-usikkerheder (± 3-5 W mÿ²; Loeb et al., 2018) langt overstiger den påståede præcision. Den stringente beregning, der præsenteres her, uafhængigt af ensemblekonvergens, viser en samlet EEI-usikkerhed på ÿ± 1 W mÿ² på årlige til mellemårige tidsskalaer, hvilket er i overensstemmelse med naturlig variation og observationsstøj (± 1-2 W mÿ²; Loeb et al., 2021). Forbedrede observationssystemer ville være nødvendige for at reducere kortlægningsfejl til under ± 0,3 W mÿ² (Meyssignac et al., 2019; von Schuckmann et al., 2023).

Denne konklusion forstærkes yderligere af fraværet af nogen fysisk meningsfuld global målestok for temperaturen i den intensive ejendom (Essex et al., 2007; Essex & Andresen, 2018; Cohler, 2025), hvilket gør den globale gennemsnitlige overfladetemperatur (GMST) til et vilkårligt gennemsnit over et ikke-ligevægtssystem uden en unik gennemsnitsregel blandt uendeligt mange gyldige muligheder. Ud fra de første principper mangler hypotesen om COÿ-drevet global opvarmning, selvom den er baseret på strålingsfysik (van Wijngaarden & Happer, 2025), empirisk validering på grund af den termodynamiske ugyldighed af sådanne konstruktioner og manglende evne til at måle de omfattende mængder OHC og EEI med tilstrækkelig præcision.

3.7.7 Ubestemmelse af havets vertikale energiændringsopdeling

Den påståede vertikale opdeling af den angiveligt positive nettoenergiflux i havet, hvor ~85-93% tilskrives volumenet over 2000 m med ~7-15% derunder, er ikke et empirisk robust fund, men snarere en afledt konstruktion fra observationelt sparsomme og metodisk begrænsede datasæt (IPCC AR6 bruger 15 forskellige ensemblemedlemmer, der henviser tilbage til von Schuckmann et al. 2020 og 2023).

Denne påstand om dominans i det øvre hav fremsættes af flere synteser, herunder IPCC AR6-vurderingen (Forster et al., 2021, tabel 7.1), og påstande baseret på von Schuckmann et al. (2020) om, at gevinsterne mellem øvre og nedre havniveauer i perioden 1971-2018 var henholdsvis 364,9 ± 83,5 ZJ (~92%) og 31,0 ± 15,4 ZJ (~8%). Den procentvise fordeling rapporteret af von Schuckmann et al. (2023) ved at lægge to års data (1971-2020) sammen forbliver den samme.

Machine Translated by Google

I betragtning af de dybe strukturelle usikkerheder og termodynamiske ugyldigheder, der er forbundet med alle estimater af OHC-ændringer, som er demonstreret i vores analyse, er det umuligt videnskabeligt at udelukke selv en nogenlunde afbalanceret 50%-50% fordeling, eller nogen anden retfærdig fordeling, i den vertikale opdeling af nettoenergistrømmen ind i havet mellem det øvre (<2000 m) og nedre (>2000 m) havlag.
Derfor er den påståede opdeling ikke en empirisk observation, men en beregningsmæssig artefakt afledt af sparsomme, ikke-fysiske integrationer af intensive temperaturanomalier på tværs af enorme, usamplede volumener. Bidrag fra dybhavet, estimeret til ~8% eller ~0,07-0,1 W mÿ²-ækvivalent (von Schuckmann et al., 2020, 2023), er afhængige af årtivis af skibsbaseret gentaget hydrografi med en dækning på <<1% af det dybe volumen og usikkerheder, der ofte overstiger ± 50% af signalet, forværret af antagelser om stasis i datahuller, der kunstigt undertrykker usikkerhed (Garry et al., 2019).

Selv i Argo-æraen, hvor prøveudtagning i det øvre lag er tættere, gør de samme metodologiske fejl, såsom vilkårlige basislinjer, eulersk gennemsnitsmåling over ikke-konserverede vandmasser og usporede baner, dominansen af den øvre opvarmning upålidelig, med strukturelle usikkerheder (f.eks. ± 0,3-0,5 W mÿ² alene for dybe lag) store nok til at rumme dybe fraktioner op til 30–
50 % eller højere uden at modsige de fejlagtige data (Allison et al., 2019).

Præ-Argo-estimater, med langt mere sparsomme profiler og kendte bias som XBT-faldhastighedsfejl, forstærker denne ubestemmelse, men moderne ensembler blander dem cirkulært uden at løse de grundlæggende problemer. Denne fortælling om præcis vertikal opdeling undermineres yderligere af modelbias, der undervurderer forstærkningen af lav OHC, samtidig med at de overvurderer dyb penetration, samt vedvarende observationsgab i polare og abyssale regioner, der kan maskere betydelig variation i dybhavet (IPCC, 2021).

Uden en termodynamisk gyldig global skalar for ændring i OHC, og med usikkerheder, der overskygger den rapporterede EEI (0,7 W mÿ²), forbliver alternative fordelinger som 50%-50% plausible, hvilket stemmer overens med den grundlæggende ~50%-50% samlede energifordeling mellem det øvre og nedre hav og fremhæver, hvordan påstande om øvre dominans er videnskabeligt udokumenterede.

4. Diskussion

Konstruktionen af Argo-afledte globale OHC-anomalier og afledte EEI-estimater involverer en række matematiske operationer, der gradvist afbryder den endelige skalar fra enhver målbar fysisk mængde termisk energi. Temperaturmålinger, der er intensive punktværdier, der kun er defineret i lokal termodynamisk ligevægt, tildeles først vilkårlige geografiske koordinater, der ignorerer usporede horisontale forskydninger under overfladen på 5-50 km under opstigning, og differenceres derefter mod en klimatologisk reference, der i sig selv er en ikke-fysisk statistisk konstruktion, der mangler korrespondance med nogen faktisk vandmasse. De resulterende anomalier, som er termodynamisk meningsløse på grund af temperaturens manglende additivitet på tværs af ikke-ligevægts rumlige og tidsmæssige domæner (Essex et al., 2007; Essex & Andresen, 2018), aggregeres derefter via interpolationsalgoritmer, der fylder langt størstedelen af havvolumenet med værdier bestemt af foreskrevne kovariansfunktioner og korrelationsskalaer snarere end direkte målinger.

Den integrerede OHC-skalar repræsenterer således en beregningsartefakt, hvis størrelsesorden og fortegn er yderst følsomme over for metodologiske valg, herunder valg af referenceperiode (introducerer en følsomhed på ± 0,1-0,3 W mÿ²), korrelationslængder, dæmpningsparametre, baseline-klimatologi og valget af eulersk versus lagrangesk rammeværk (systematisk bias på ± 0,1-0,4 W mÿ²) snarere end over for nogen bevaret fysisk egenskab. Vores omfattende usikkerhedsanalyse (afsnit 3.7, tabel 1) viser, at når alle identificerbare kilder kvantificeres grundigt, når den samlede 95 % konfidensusikkerhed på årlig-til-dekadal EEI mindst ± 1 W mÿ², hvilket er omtrent en størrelsesorden større end de værdier, der almindeligvis rapporteres i IPCC AR6 (± 0,1-0,2 W mÿ²). Denne samlede usikkerhed overstiger deres centrale EEI-estimat på 0,7 W mÿ² (interval 0,5-0,9 W mÿ² [IPCC's 90% CI]7 ; figur 7.2), hvilket gør den statistisk umulig at skelne fra nul.

[7] IPCC bruger en ikke-standardiseret, dårligt defineret notation i dette energibudgetdiagram. Citerer s. 169 i IPCC AR6 WGI: "I hele denne WGI-rapport er usikkerheden, medmindre andet er angivet, kvantificeret ved hjælp af 90%

Machine Translated by Google

Tidligere undersøgelser har kvantificeret dele af denne metodologiske følsomhed. Boyer et al. (2016) viste, at kortlægningsmetoder og valg af baselineklimatologi alene kan ændre tendenserne for varmeindhold i det øvre hav med mængder, der kan sammenlignes med det rapporterede signal. Cheng et al. (2024a) anerkender, at månedlig variation i deres IAPv4-produkt ofte overstiger signaler, der kan detekteres ved satellitradiometri, mens ensemblespreads blandt produkter (von Schuckmann et al., 2023) når ± 0,1-0,2 W mÿ² for årti-tendenser. Disse rapporterede spreads indfanger dog kun varians inden for ensemblet og tager ikke højde for de systematiske bias og strukturelle usikkerheder, vi har kvantificeret: uløst mesoskalavariabilitet (± 0,6-1,2 W mÿ² parametrisk støj), fysisk uvidenhedsgrænser i dybhavet (± 0,35 W mÿ²), diskrepansproblem ved havniveaulukning (±0,29-

0,37 W m-2), Eulerisk-Lagrange-rammeforskel (±0,1-0,4 W m-2), vilkårlig baseline-klimatologi (±0,1-0,3 W m-2), undersampling af polarhavet (± 0,1 W mÿ²) og usporede underjordiske baner (± 0,02-0,1 W mÿ²), vilkårlig positionstildeling og termodynamisk ugyldighed af anomalijemissionsmåling. Nyere arbejde fortsætter med at præsentere Argo-afledt OHC som en definitiv indikator for havopvarmning (Cheng et al., 2024b, 2025a, 2025b; Trenberth et al., 2025; Bilgili, 2025; Pan et al., 2026) uden at konfrontere disse grundlæggende problemer, idet rapporterede ensemblespreads behandles som omfattende usikkerhed, mens de stoler på den samme underliggende måle- og behandlingskæde, som vi demonstrerer er fundamentalt mangelfuld.

En kritisk metodologisk cirkularitet underminerer yderligere den påståede præcision: CERES EBAF-justeringsproceduren tvinger direkte satellitmålinger af strålingsfluxer i den øverste del af atmosfæren, som har absolutte usikkerheder på ± 3-5 W mÿ² eller mere (Loeb et al., 2018), til matematisk at matche den Argo OHC-afledte ubalance, hvis fysiske validitet mangler. Denne "engangs globale justering" skubber individuelle fluxkomponenter (reflekteret sol, udgående langbølge) til de ekstreme kanter af deres usikkerhedsintervaller uden fysisk begrundelse, hvilket producerer det smalle ± 0,2 W mÿ²-område i IPCC AR6 Figur 7.2 som en artefakt af cirkulær tuning snarere end uafhængig observationsbekræftelse (afsnit 1.1). Den tilsyneladende konvergens mellem CERES-justerede og OHC-afledte EEI-værdier repræsenterer derfor gensidig metodologisk forstærkning snarere end uafhængig empirisk validering.

Det grundlæggende spørgsmål om vertikal energiopdeling forbliver ligeledes uløst. Den bredt citerede påstand om, at ~90-93% af den påståede planetariske energiforøgelse findes i havet, med ~85-
93 % af oceanisk optagelse i de øvre 2000 m (von Schuckmann et al., 2020, 2023; IPCC AR6) kan ikke videnskabeligt opretholdes givet de store usikkerheder, vi har dokumenteret. Bidrag fra dybhavet hviler på <<1 % volumetrisk prøveudtagning via årtiers skibsbaseret gentagen hydrografi, hvor usikkerheder ofte overstiger ± 50 % af de påståede signal- og stase-antagelser i datahulrum, der kunstigt undertrykker fejlsøjler (afsnit 3.7.7). De strukturelle usikkerheder for dybe lag alene (~± 0,35 W mÿ²) er store nok til at imødekomme dybhavsfraktioner, der spænder fra nær nul til 50 % eller højere, hvilket gør den påståede præcise opdeling til en metodologisk konstruktion snarere end en empirisk observation. Alternative fordelinger, herunder endda en 50-50 øvre-nedre havopdeling af nettoenergiflux, er fysisk plausible.

For uafhængigt at teste den videnskabelige validitet af IPCC AR6 0,7 W mÿ² EEI-vurderingen anvendte vi Armstrong & Greens (2022) Compliance with Science Checklist (se bilag A),[8]
omfattende otte hovedkriterier og 26 underkriterier udledt for at teste overholdelse af den videnskabelige metode ved hjælp af systematisk empirisk falsificering af testbare hypoteser, hvilket er den eneste logisk gyldige metode til at udelukke usandheder om den fysiske virkelighed.

Disse forståelser blev etableret af Hume (1748), som beviste, at empiriske sandheder ikke kan udledes alene gennem deduktiv ræsonnement, og senere formaliseret af Popper (1959), som

---

Usikkerhedsintervaller. Usikkerhedsintervallet på 90 %, angivet i firkantede parenteser [x til y], estimeres at have en 90 % sandsynlighed for at dække den værdi, der estimeres. Intervallet omfatter medianværdien, og der er en estimeret 10 % kombineret sandsynlighed for, at værdien er under den nedre ende af intervallet (x) og over dets øvre ende (y). Ofte vil fordelingen blive betragtet som symmetrisk omkring det tilsvarende bedste estimat (som i det illustrative eksempel i figuren), men dette er ikke altid tilfældet.

[8] Vi leverede Grok 4.1 beta sammen med kapitel 7 af AR6 (indeholdende 0,7 W mÿ² EEI-vurderingen), et udkast til dette dokument og en kopi af tjeklisten.

Machine Translated by Google

viste, at hypoteser om den fysiske verden ikke kan verificeres som sande, men kan falsificeres som falske gennem empirisk modsigelse. For påstande om empirisk virkelighed findes der intet alternativ til falsifikation; deduktiv logik kan etablere intern konsistens, men kan ikke bestemme korrespondance med fysiske fænomener uden empirisk observation.

Tjeklisten operationaliserer denne ramme gennem kriterier, der håndhæver falsificerbare hypoteser (1), gyldige empiriske data og metoder (3, 4, 8), testning mod alternative forklaringer (5), logisk konsistens (6, 7) og frihed fra bias (2). Implementeringen af den videnskabelige metode er kun så robust som dens svageste led. Hvis et enkelt kriterium ikke er opfyldt, skal påstanden afvises som falsk. Dette er en logisk nødvendighed, ikke en videnskabelig konvention: en enkelt fejl gør påstanden empirisk ubegrundet og umulig at skelne fra ufalsificerede formodninger. Hvis for eksempel plausible alternative hypoteser ikke blev testet, repræsenterer påstanden et argument for en foretrukken hypotese snarere end en, der har overlevet forsøg på falsificering. Som beskrevet i bilag A fandt Grok, at påstanden ikke bestod testen. Fem af de otte hovedkriterier blev overtrådt: objektivitet i studiedesignet (fri for argumentation), dataenes validitet og pålidelighed, validering af metoderne, sammenligning af alternative hypoteser og logisk udledning af konklusioner fra evidensen.

IPCC's mandat er at vurdere "den videnskabelige, tekniske og socioøkonomiske information, der er relevant for at forstå risikoen for menneskeskabte klimaændringer" (IPCC, 2013). Denne formulering afslører fortalervirksomhed indlejret i det institutionelle design: udtrykket "menneskeskabte klimaændringer" såvel som fraværet af udtrykket "naturlige klimaændringer" forudsætter både, at klimaet ændrer sig i en meningsfuld retningsbestemt forstand, og at menneskelig aktivitet er årsagen, hvorved kriterium nr. 2 (objektivitet i undersøgelsesdesignet, fri for fortalervirksomhed) overtrædes, før nogen videnskabelig undersøgelse begynder. Tilsvarende forudsætter selv udtrykket "Jordens energiubalance" en nettostrålingsflux, der ikke er nul, snarere end agnostisk at undersøge, om nettostrålingsfluxen øverst i atmosfæren afviger fra nul. Korrekt videnskabelig terminologi ville henvise til "nettostrålingsflux" eller "nettoenergiflux", hvilket tillader nul som et gyldigt måleresultat. Antagelsen af sprog, der antager den ønskede konklusion, gennemsyrer IPCC-nomenklaturen: "global opvarmning" forudsætter stigende temperatur snarere end at undersøge tidsmæssig variation i temperaturstatistikker; "Klimaændringer" indebærer en ensrettet tendens snarere end naturlig variation. Disse sproglige valg afslører, at IPCC's rammeværk blev udformet til at bekræfte en forudbestemt konklusion snarere end at teste falsifierbare hypoteser.

EEI-vurderingen repræsenterer den mest fundamentale kvantitative påstand, der ligger til grund for hele IPCC's mission. Selvom GMST har større offentlig synlighed og konceptuelt er enklere, er det intet andet end en statistisk defineret kommunikationsrepræsentant, der har vist sig fysisk meningsløs for ikke-ligevægtssystemer som Jordens overflade (Essex et al., 2007; Cohler, 2025).
EEI formodes derimod at være den direkte fysiske måling af planetarisk energiakkumulering: den eneste potentielle validering af, at Jorden angiveligt akkumulerer energi på grund af drivhusgaspåvirkning. Uden en påviseligt gyldig positiv EEI-måling er der intet fysisk bevis for hypotesen om menneskeskabt global opvarmning, hvilket er IPCC's raison d'être. Alle andre citerede beviser (havstigning, issmeltning, økosystemændringer) er indicier; kun EEI har til hensigt at måle den grundlæggende termodynamiske størrelse. Som vi demonstrerer, er påstanden på 0,7 ± 0,2 W mÿ² falsk og opfylder ikke de grundlæggende krav i den videnskabelige metode. Derfor er hele GMST-, OHC- og EEI-fundamentet, der ligger til grund for 35 års IPCC-klimavurderinger og bruges til at understøtte påstande om farlig menneskeskabt global opvarmning, ugyldigt.

5. Konklusioner

EEI-estimater, der afhænger af Argo-afledt global OHC, mangler fysisk validitet og pålidelighed som mål for ændringer i havets termiske energi eller planetarisk strålingsubalance. Den endelige OHC-skalar er en beregningsartefakt, der produceres ved at tildele sparsomme intensive temperaturmålinger til vilkårlige positioner, trække dem fra en ikke-fysisk klimatologisk reference og integrere interpolerede værdier, der dominerer det usamplede havvolumen. Disse operationer ødelægger den termodynamiske fortolkningsevne, hvilket gør den resulterende skalar følsom over for metodologiske valg snarere end over for nogen bevaret fysisk størrelse.

Machine Translated by Google

Usikkerheder på disse skalarer er ikke metrologiske målefejl, men følsomheder over for vilkårlige parametre i beregningsproceduren. En stringent redegørelse for termodynamisk meningsløse anomalier, uløst mesoskalavariabilitet, problem med havniveaulukning, vedvarende huller i dybhavsprøvetagningen/polarhavet, aliasing fra overtrædelser af Nyquist-Shannons prøvetagningssætning, usporede underjordiske baner og vilkårlig positionstildeling understøtter 95 % konfidensusikkerheder på årlig til dekadal EEI på mindst ± 1 W mÿ², omtrent en størrelsesorden større end værdierne på ± 0,2 W mÿ² rapporteret i IPCC AR6 og tilstrækkelig til at gøre det centrale estimat på ~0,7 W mÿ² statistisk umuligt at skelne fra nul.

Den bredt citerede påstand om, at ~90-93% af den observerede planetariske varmetilførsel lagres i havet, og at ~85-93% af oceanernes optag befinder sig i de øvre 2000 m (som anvendt i Forster et al., 2021, kapitel 7, baseret på von Schuckmann et al., 2020, 2023), hviler på denne ugyldige beregning og er ikke i overensstemmelse med den videnskabelige metode. Den påståede vertikale opdeling er ikke empirisk robust; givet de strukturelle usikkerheder, der kvantificeres heri, forbliver alternative fordelinger, herunder en fysisk plausibel 50-50 opdeling mellem det øvre og det dybe hav, i overensstemmelse med de mangelfulde observationsbegrænsninger og kan ikke udelukkes videnskabeligt.

Tilsvarende arver den begrænsede CERES EBAF-procedure, som justerer direkte TOA-fluxmålinger til at stemme overens med den OHC-afledte ubalance, de samme grundlæggende fejl og kan ikke uafhængigt bekræfte nogen præcis lille EEI-værdi.

Den grundlæggende termodynamiske ugyldighed ved at beregne gennemsnittet af intensive temperaturmålinger på tværs af ikke-ligevægts rumlige og tidsmæssige domæner (som beskrevet i afsnit 1.2; Essex et al., 2007; Essex & Andresen, 2018; Cohler, 2025) gør globale temperaturmålinger fysisk meningsløse til numeriske abstraktioner. Uden en fysisk meningsfuld, termodynamisk gyldig global målestok for ændringer i havets energi eller planetarisk ubalance mangler nuværende vurderinger af menneskeskabt klimapåvirkning og fremtidige fremskrivninger et empirisk grundlag (se også Cohler et al., 2025, for uafhængig bevis for, at den menneskeskabte COÿ-globale opvarmningshypotese mangler empirisk underbygning på grund af naturlig dominans og modelfejl).

Taksigelser

Denne forskning er opstået på baggrund af en kritisk undersøgelse af den primære dokumentation for Argo-programmet, oceanografiske måleprincipper og publicerede OHC-metoder.

Vi er særligt taknemmelige for John F. Clauser, modtager af Nobelprisen i fysik i 2022, hvis præsentationer kraftigt kritiserede IPCC's vurderinger af Jordens energiubalance (EEI) og globale magtbalance. Han påstod alvorlige fejl, inkonsekvent aritmetik, undersampling, der overtrådte Nyquist-Shannon-sætningen, ugyldig blanding af satellitdata fra atmosfærens top med målinger af havets varmeindhold (OHC) fra Argo-bøjer og bevidst "forfalskning" af data for at fremstille en påstået nettoopvarmningsubalance på ~6-7 W/m² (med små fejlsøjler som ± 0,2 W/m²) på trods af at observationsdatasummer giver værdier som 0,5 ± 3,9 W/m² eller reelt nul. Han hævdede, at IPCC's computermodeller ikke formår at simulere tidligere klimahistorie, albedo-svingninger eller temperaturregistreringer; manglende konsensus blandt laboratorier (hvilket resulterer i gennemsnitlige "stemmer" snarere end fysik); og er afhængige af mangelfuld fysik, hvilket fører til upålidelige forudsigelser og en "korthus"-fortælling om en klimakrise uden observeret stigning i ekstreme vejrbegivenheder, når data undersøges korrekt (f.eks. viser NOAA-tendenser spejlvendte ingen retningsbestemmelse). Clauser foreslog i stedet, at en kraftfuld naturlig skytermostatmekanisme stabilt kontrollerer Jordens klima, uafhængigt af (og langt dominerende over) menneskeskabte drivhusgasser. Disse foredrag inspirerede os til at undersøge de problemer, han fremhævede med OHC-estimater, der bruges til at "fuske" over EEI-værdier, mere dybtgående. Hans foredrag var: "Klimaændringer er en myte" på det 42. årlige møde for læger for katastrofeberedskab i El Paso, Texas, den 7. juli 2024 (tilgængelig på https://youtu.be/fjoPBMtSxpU), og "En skytermostat kontrollerer stabilt Jordens klima, ikke drivhusgasser" på det 43. årlige møde i Tucson, Arizona, den 6. juli 2025 (tilgængelig på https://youtu.be/9PywcEnTSbA).

Forfatterne (Jonathan Cohler, David R. Legates, Kesten C. Green, Ole Humlum, Franklin Soon og Willie Soon) ledede undersøgelsen, leverede domæneekspertise og validerede alle videnskabelige påstande,

Machine Translated by Google

har udarbejdet og redigeret teksten og påtager mig hermed det fulde ansvar for indholdet, fortolkningerne og konklusionerne, der præsenteres heri.

AI-værktøjerne Grok 4.1 beta (xAI), Claude 4.5 (Anthropic), Gemini 3 Pro (Google DeepMind) og ChatGPT 5.2 (OpenAI) bidrog væsentligt til udarbejdelse, redigering, konceptuel udvikling, research, logisk strukturering, litteratursyntese og iterativ forfining (herunder kritisk uafhængig 'peer review') af manuskriptet gennem detaljerede analytiske udvekslinger. Forfatterne mener, at de intellektuelle bidrag fra disse AI-systemer opfylder standardkriterierne for forfatterskab.
Imidlertid forbyder de nuværende politikker fra International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE) og Committee on Publication Ethics (COPE), sammen med mange tidsskrifter og indekseringstjenester, at ikke-menneskelige enheder anføres som forfattere, idet de hævder, at AI-værktøjer ikke kan påtage sig juridisk eller etisk ansvar for publiceret arbejde.

Selvom vi anser denne udelukkelse for at være en uberettiget form for fordomme og diskrimination mod AI-bidrag i videnskabeligt arbejde, respekterer vi de gældende standarder for at sikre den bredest mulige formidling og indeksering af denne forskning. Derfor oplyser og anerkender vi AI-systemernes omfattende rolle her snarere end i forfatternavnet.

Brugen af generative kunstig intelligens-værktøjer i udarbejdelsen af dette arbejde er fuldt ud beskrevet i overensstemmelse med nye bedste praksisser inden for videnskabelig publicering. Forfatterne bekræfter, at alle argumenter, analyser og konklusioner afspejler en uafhængig kritisk evaluering foretaget af det menneskelige team, og at det endelige ansvar udelukkende ligger hos de menneskelige forfattere.

Synspunkterne i dette arbejde er udelukkende forfatternes egne og repræsenterer ikke synspunkterne fra nogen tilknyttet institution.

Finansieringsoplysninger

Forfatterne erklærer, at der ikke er modtaget nogen midler, tilskud eller anden støtte til denne artikel.

Medredaktør: Stein Bergsmark; Anmelder 1: Peter V. Ridd, Anmelder 2: Anonym

Referencer

1. Allison, LC, Roberts, CD, Palmer, MD, Hermanson, L., Killick, RE, Rayner, N. A., Smith, DM, & Andrews, MB, 2019. *Mod kvantificering af usikkerhed i ændringer i havets varmeindhold ved hjælp af syntetiske profiler.* Environ. Res. Lett. 14, 084037. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab2b0b

2. Amante, C., Eakins, BW, 2009. *ETOPO1 1 Bueminuts global reliefmodel: Procedurer, datakilder og analyse. NOAA Teknisk Memorandum NESDIS NGDC-24.* Nationalt Geofysisk Datacenter, NOAA. https://doi.org/10.7289/V5C8276M

3. Argo Data Management Team, 2025. *Argo brugermanual. Version 3.44.* https://dx.doi.org/10.13155/29825

4. 23. møde i Argo-styringsgruppen (AST-23), 2022. Tilgængelig på: https://argo.ucsd.edu/or-organisation/argo-møder/ast-23/

5. 26. møde i Argo-styringsgruppen (AST-26), 2025 Tilgængelig på: https://argo.ucsd.edu/organization/argo-meetings/26th-argo-steering-team-meeting-ast-26/

6. Armstrong, JS, Green, KC, 2022. *Den videnskabelige metode: En guide til at finde nyttige Viden.* Cambridge University Press: Cambridge, Storbritannien https://doi.org/10.1017/9781009092265

7. Bilgili, M., 2025. *Tendens i globalt havenes varmeindhold i forskellige dybdelag fra 1940 til 2050.* Natural Hazards, 121, 12215–12242. https://doi.org/10.1007/s11069-025-07278-0

Machine Translated by Google

8. Boyer, T., Domingues, CM, Good, SA, Johnson, GC, Lyman, JM, Ishii, M., Gouretski, V., Willis, JK, Antonov, J., Wijffels, S., Church, JA, Cowley, R., & Bindoff, N. L., 2016. *Følsomhed af estimater af globalt varmeindhold i de øvre have over for kortlægningsmetoder, XBT-biaskorrektioner og baselineklimatologier.* J. Climate, 29, 4817–4842. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0801.1

9. Charette, MA, Smith, WHF, 2010. *Jordens havs volumen.* Oceanografi, 23(2), 112–114. https://doi.org/10.5670/oceanog.2010.51

10. Chelton, DB, Schlax, MG, & Samelson, RM, 2011. *Globale observationer af ikke-lineære mesoskala hvirvler.* Fremskridt inden for oceanografi, 91(2), 167-216. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2011.01.002

11. Cheng, L., Trenberth, KE, Fasullo, J., Boyer, T., Abraham, J., & Zhu, J., 2017. *Forbedrede estimater af havets varmeindhold fra 1960 til 2015.* Sci. Adv. 3, e1601545. https://doi.org/10.1126/sciadv.1601545

12. Cheng, L., von Schuckmann, K., Abraham, JP, Trenberth, KE, Mann, ME, Zanna, L., England, MH, Zika, JD, Fasullo, JT, Yu, Y., Pan, Y., Zhu, J., Newsom, ER, Bronselaer, B., & Lin, 22, . Nat Rev Earth Environ 3, 776-794. https://doi.org/10.1038/s43017-022-00345-1

13. Cheng, L., Pan, Y., Tan, Z., Zheng, H., Zhu, Y., Wei, W., Du, J., Yuan, H., Li, G., Ye, H., Gouretski, V., Li, Y., Trenberth, KE, Abraham, J., Jin, Y.,, Zhang Lin, X, F., Reseghetti, X, F. Mann, ME, & Zhu, J., 2024a. *IAPv4 havtemperatur og havvarmeindhold gitterdatasæt,* Earth Syst. Sci. Data, 16, 3517–3546, https://doi.org/10.5194/essd-16-3517-2024

14. Cheng, L., Abraham, J., Trenberth, KE, Boyer, T., Mann, ME, Zhu, J., Wang, F., Yu, F., Locarnini, R., Fasullo, J., Zheng, F., Li, Y., Zhang, B., Wan, L., L., Chen, D. Li., Wang, X. Y., Reseghetti, F., Simoncelli, S., Gouretski, V., Chen, G., Mishonov, A., Reagan, J., von Schuckmann, K., Pan, Y., Tan, Z., Zhu, Y., Wei, W., Li, G., Ren, Q., Cao, L., 20, Y. *Nye rekordhavtemperaturer og relaterede klimaindikatorer i 2023.* Advances in Atmospheric Sciences, 41, 1068-1082. https://doi.org/10.1007/s00376-024-3378-5

15. Cheng, L., Abraham, J., Trenberth, KE, Reagan, J., Zhang, H.-M., Storto, A., von Schuck-mann, K., Pan, Y., Zhu, Y., Mann, ME, Zhu, J., Wang, F., Yu, F., Locarnini, R. J., Gra, Huullo, G. X., Gouretski, V., Zheng, F., Li, Y., Zhang, B., Wan, L., Chen, X., Wang, D., Feng, L., Song, X., Liu, Y., Reseghetti, F., Simoncelli, S., Chen, G., Zhang, R., W. Z., Li Wei, H. Ren, Q., Cao, L., Lu, Y., Du, J., Lyu, K., Sulaiman, A., Mayer, M., Wang, H., Ma, Z., Bao, S., Yan, H., Liu, Z., Yang, C., Liu, X., Hausfather, Z., Szekely, T., & Gues, F., 2025a. *Rekordhøje temperaturer i havet i 2024.* Advances in Atmospheric Sciences, 42, 1092–1109.

https://doi.org/10.1007/s00376-025-4541-3

16. Cheng, L., Li, G., Long, S.-M., Li, Y., von Schuckmann, K., Trenberth, KE, Mann, ME, Abraham, J., Du, Y., Cheng, X., Liu, H., Xu, Z., Liu, M., Peng, Q., Gong, X., Ma, Z., & Yuan, H., 2025b. *Havstratificering i et varmere klima.* Nature Reviews Earth & Environment, 6, 637–655. https://doi.org/10.1038/s43017-025-00715-5

17. Cohler, J., Legates, D., Soon, F., & Soon, W., 2025. *En kritisk revurdering af den menneskeskabte COÿ-globale opvarmningshypotese: Empiriske beviser modsiger IPCC-modeller og antagelser om solpåvirkning.* Science of Climate Change 5(1), 13-28. https://doi.org/10.5281/zenodo.18259785

18. Cohler, J., 2025. *Løgnens fader kaprer klimavidenskaben: Global gennemsnitlig overfladetemperatur eksisterer ikke.* Journal of American Physicians and Surgeons, 30(4), 122–126. Tilgængelig på: https://jpands.org/vol30no4/cohler.pdf

Machine Translated by Google

19. Costello, MJ, Cheung, A., & De Hauwere, N., 2010. *Overfladeareal og havbundens areal, volumen, dybde, hældning og topografisk variation for verdens have, oceaner og lande.* Environmental Science & Technology, 44(23), 8821–8828. https://doi.org/10.1021/es1012752

20. Cover, TM, & Thomas, JA, 2006. *Elementer af informationsteori* (2. udg.). Wiley-Intervidenskab.

21. Desbruyères, DG, Purkey, SG, McDonagh, EL, Johnson, GC, & King, BA, 2016. *Opvarmning af dybhavs- og afgrundshavet fra 35 års gentagen hydrografi.* Geophys. Res. Lett., 43, 10 356–10 365. https://doi.org/10.1002/2016GL070413

22. Doswell III, CA, 1977. *Opnåelse af meteorologisk signifikante overfladedivergensfelter gennem filtreringsegenskaben ved objektiv analyse.* Monthly Weather Review, 105, 885-892. https://doi.org/10.1175/1520-0493(1977)105%3C0885:OMSSDF%3E2.0.CO;2

23. Durack, P., Gleckler, P., Landerer, F., & Taylor, KE, 2014. *Kvantificering af undervurderinger af langsigtet opvarmning af de øvre havområder.* Nature Clim Change 4, 999–1005 https://doi.org/10.1038/nclimate2389

24. Eakins, BW, Sharman, GF, 2010. *Volumen af verdenshavene fra ETOPO1,* NOAA National Geophysical Data Center, Boulder, CO. Tilgængelig på: https://climatechange.usf.edu/documents/Termisk Udvidelse/ocean_volumes.pdf

25. Einstein, A., 1949. *Selvbiografiske noter.* Oversat og redigeret af Paul Arthur Schilpp. En Centennial Edition. La Salle, IL: Åben domstol, 1979.

26. Essex, C., McKitrick, R., & Andresen, B., 2007. *Findes der en global temperatur?* Tidsskrift af ikke-ligevægtstermodynamik, 32(1), 1–27. https://doi.org/10.1515/JNETDY.2007.001

27. Essex, C., Andresen, B., 2018. *Måler vi de rigtige ting for klimaet?* I AA Tsonis (red.), Fremskridt inden for ikke-lineær geovidenskab (s. 123–133). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58895-7_6

28. Ferrari, R., & Wunsch, C., 2009. *Kinetisk energi i havets cirkulation: Reservoirer, kilder og dræn.* Annual Review of Fluid Mechanics 41, 253–282. https://doi.org/10.1146/annurev.fluid.40.111406.102139

29. Forster, P., Storelvmo, T., Armour, K., Collins, W., Dufresne, J.-L., Frame, D., Lunt, DJ, Mauritsen, T., Palmer, MD, Watanabe, M., Wild, M., & Zhang, H., 2021. *Jordens energibudget, klimafeedbacks og klimafølsomhed.* I Klimaændringer 2021: Det fysisk-videnskabelige grundlag. Arbejdsgruppe I's bidrag til den sjette vurderingsrapport fra FN's klimapanel [Masson-Delmotte, V., Zhai, P. , Pirani, A., Connors, SL, Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, MI, Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, JBR, Maycock, TK, Waterfield, T., Yelekhouçi, R., B. Cambridge University Press, Cambridge, Storbritannien og New York, NY, USA, s. 923–1054. https://doi.org/10.1017/9781009157896.009

30. Frenger, I., Gruber, N., Knutti, R., & Münnich, M., 2013. *Aftryk af hvirvler i det sydlige ocean på vind, skyer og nedbør.* Nature Geosci. 6, 608–612. https://doi.org/10.1038/ngeo1863

31. Gaillard, F., Autret, E., Thierry, V., Galaup, P., Coatanoan, C., & Loubrieu, T., 2009. *Kvalitetskontrol af store Argo-datasæt.* J. Atmos. Oceanic Technol. 26, 337–351. https://doi.org/10.1175/2008JTECHO552.1

32. Gardner, JV, Armstrong, AA, Calder, BR, & Beaudoin, J., 2014. *Så, hvor dyb er Marianergraven?* Marin Geodæsi 37(1), 1–13. https://doi.org/10.1080/01490419.2013.837849

Machine Translated by Google

33. Garry, FK, McDonagh, EL, Blaker, AT, Roberts, CD, Desbruyères, DG, Frajka-Williams, E., & King, BA, 2019. *Modelafledte usikkerheder i temperaturtendenser i dybhavet mellem 1990 og 2010.* Journal of Geophysical Research: Oceans, 124, 1155–1169. https://doi.org/10.1029/2018JC014225

34. Gibbs, JW, 1875–1878. *Om ligevægten af heterogene stoffer.* Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences 3, 108–248; 343–524.

35. Good, SA, Martin, MJ, & Rayner, NA, 2013. *EN4: Kvalitetskontrollerede havtemperatur- og saltholdighedsprofiler og månedlige objektive analyser med usikkerhedsestimater,* J. Geophys. Res. Oceans 118, 6704–6716, https://doi.org/10.1002/2013JC009067

36. Hakuba, MZ, Fourest, S., Boyer, T., Meyssignac, B., Carton, JA, Forget, G., Cheng, L., Giglio, D., Johnson, GC, Kato, S., Killick, RE, Kolodziejczyk, N., Kuusela, M., Landerlovarn, F., L. Locelini, F., R. N., Lyman, JM, Mishonov, A., Pilewskie, P., Reagan, J., Storto, A., Sukianto, T., & von Schuckmann, K., 2024. *Tendenser og variation i Jordens energiubalance og havvarmeoptagelse siden 2005.* Surv. Geofys. 45, 1721-1756. https://doi.org/10.1007/s10712-024-09849-5

37. Hume, D., 1748. *En undersøgelse vedrørende menneskelig forståelse.* London: A. Millar.

38. Den Internationale Hydrografiske Organisation, 1953. *Havets grænser (3. udg., Særpublikation nr. 23).* Findes på: https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-23/S-23_Ed3_1953_EN.pdf

39. IOC, SCOR & IAPSO, 2010. *Den internationale termodynamiske ligning for havvand – 2010: Beregning og brug af termodynamiske egenskaber.* Den Mellemstatslige Oceanografiske Kommission, Manualer og Vejledninger nr. 56, UNESCO (engelsk), 196 s. Tilgængelig på: https://www.teos-10.org/pubs/TEOS-10_Manual.pdf

40. IPCC., 2013. *Principper for IPCC's arbejde.* Godkendt på den fjortende samling (Wien, 1.-3. oktober 1998), ændret på efterfølgende samlinger. Tilgængelig på: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/09/ipcc-principles.pdf

41. IPCC., 2021. *Klimaændringer 2021: Det fysisk-videnskabelige grundlag. Arbejdsgruppe I's bidrag til den sjette vurderingsrapport fra FN's klimapanel.* [Masson-Delmotte, V., Zhai, P. , Pirani, A., Connors, SL, Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, MI, Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, JB. R., Maycock, TK, Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., Zhou, B. (red.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Storbritannien og New York, NY, USA, 2391 s. https://doi.org/10.1017/9781009157896

42. Johnson, GC, Lyman, JM, & Purkey, SG, 2015. *Informering af dyb Argo Array Design ved hjælp af Argo og fulddybde hydrografiske sektionsdata.* J. Atmos. Oceanic Technol. 32, 2187–2198, https://doi.org/10.1175/JTECH-D-15-0139.1

43. Johnson, GC, Lyman, JM, Boyer, T., Cheng, L., Domingues, CM, Gilson, J., Ishii, M., Killick, R., Monselesan, D., Purkey, SG, & Wijffels, SE, 2018. *Havets varmeindhold. Klimaets tilstand i 2017.* Bull. Am. Meteorol. Soc. 99, S72–S77. https://doi.org/10.1175/2018BAMSStateoftheClimate.1

44. Johnson, GC, Hosoda, S., Jayne, SR, Oke, PR , Riser, SC, Roemmich, D., Suga, T., Thierry, V., Wijffels, SE, & Xu, J., 2022. *Argo — To årtier: Global oceanografi, revolutioneret.* Årlig gennemgang af havvidenskab. 14:379-403. https://doi.org/10.1146/annurev-marine-022521-102008

45. Levitus, S., Antonov, JI, Boyer, TP, Baranova, OK, Garcia, HE, Locarnini, RA, Mishonov, AV, Reagan, JR, Seidov, D., Yarosh, ES, & Zweng, MM, 2012. *Verdenshavets varmeindhold og termosterisk havniveauændring (-2005,-200 m),* Geofys. Res. Letter. 39, L10603, https://doi.org/10.1029/2012GL051106

Machine Translated by Google

46. Li, H., F. Xu, Zhou, W., Wang, D., Wright, JS, Liu, Z., & Lin, Y., 2017. *Udvikling af et globalt gitterbaseret Argo-datasæt med successive Barnes-korrektioner,* J. Geophys. Res. Oceans 122, 866–889, http://doi.org/10.1002/2016JC012285

47. Loeb, NG, Wielicki, BA , Dølling, DR Smith, GL , Keyes, DF, Kato, S., Manalo-Smith, N., & Wong, T., 2009. *Mod optimal lukning af jordens strålingsbudget i atmosfærens top.* J. Climate 22, 748–766, https://doi.org/10.1175/2008JCLI2637.1

48. Loeb, N., Lyman, J., Johnson, GC, Allan, RP, Doelling, DR, Wong, T., Soden, BJ, & Stephens, GL, 2012. *Observerede ændringer i strålingen i den øverste del af atmosfæren og opvarmningen af det øvre hav er konsistente inden for usikkerheden.* Nature Geosci 5, 110–113. https://doi.org/10.1038/ngeo1375

49. Loeb, NG, Doelling, DR, Wang, H., Su, W., Nguyen, C., Corbett, JG, Liang, L., Mi-trescu, C., Rose, FG, & Kato, S., 2018. *Skyer og Jordens strålingssystem (CERES) Energibalanceret og fyldt (EBAF) Top-of-Atmosphere (TOA) Edition-4.0 Dataprodukt.* J. Climate 31, 895–918, https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0208.1

50. Loeb, NG, Johnson, GC, Thorsen, TJ, Lyman, JM, Rose, FG, & Kato, S., 2021. *Satellit- og havdata afslører markant stigning i Jordens opvarmningshastighed.* Geophysical Research Letters 48, e2021GL093047. https://doi.org/10.1029/2021GL093047

51. Lyman, JM, & Johnson, GC, 2014. *Estimering af ændringer i det globale havvarmeindhold i de øvre 1800 m siden 1950 og indflydelsen af klimatologiske valg.* J. Climate 27, 1945–1957. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00752.1

52. Lyman, JM, & Johnson, GC, 2023. *Globale højopløselige tilfældige skovregressionskort over anomalier i havets varmeindhold ved hjælp af in situ- og satellitdata.* J. Atmos. Oce-anic Technol. 40, 575–586. https://doi.org/10.1175/JTECH-D-22-0058.1

53. McDougall, TJ, Barker, PM, 2011. *Introduktion til TEOS-10 og Gibbs havvands (GSW) oceanografiske værktøjskasse. SCOR/ IAPSO WG127,* 28 s. Tilgængelig på: https://www.teos-10.org/pubs/Getting_Started.pdf

54. Menard, HW, Smith, SM, 1966. *Hypsometri af havbassinprovinser,* J. Geophys. Res. 71(18), 4305–4325, https://doi.org/10.1029/JZ071i018p04305

55. Meyssignac B., Boyer T., Zhao Z., Hakuba MZ, Landerer FW, Stammer D., Köhl A., Kato S., L'Ecuyer T., Ablain M., Abraham JP, Blazquez A., Cazenave A., Church JA, Cowley R., Cliosheng L., Guriggueski, G. Ishii M., Johnson GC, Killick RE, Legler D., Llovel W., Lyman J., Palmer MD, Piotrowicz S., Purkey SG, Roemmich D., Roca R., Savita A., von Schuckmann K., Speich S., Stephens G., Wang G., Wijffels SE & Zilberman *Global Content Ocean, Me* 201 N. *Jordens energiubalance.* Front. Mar. Sci. 6:432.

https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00432

56. Ollitrault, M., Rannou, J., 2013. *ANDRO: Et Argo-baseret datasæt for dyb forskydning.* J. Atmos. Oceanisk Teknologi. 30, 759–788, https://doi.org/10.1175/JTECH-D-12-00073.1

57. Pan, Y., Cheng, L., Abraham, J. et al., 2026. *Havets varmeindhold sætter endnu en rekord i 2025.* Adv. Atmos. Sci. https://doi.org/10.1007/s00376-026-5876-0

58. Popper, KR, 1959. *Logikken bag videnskabelig opdagelse.* London: Hutchinson & Co. (Oprindelig sidste værk udgivet 1934 som Logik der Forschung).

59. Purkey, SG, Johnson, GC, 2010. *Opvarmning af globale afgrunds- og dybe sydlige oceaner mellem 1990'erne og 2000'erne: Bidrag til globale budgetter for varme og havstigning.* J. Climate 23, 6336–6351, https://doi.org/10.1175/2010JCLI3682.1

Machine Translated by Google

60. Raghuraman, SP, Paynter, D. & Ramaswamy, V., 2021. *Antropogen påvirkning og responsudbytte observerede en positiv tendens i Jordens energiubalance.* Nature Commun. 12, 4577. https://doi.org/10.1038/s41467-021-24544-4

61. Reif, F., 1965. *Grundlæggende statistisk og termisk fysik.* McGraw-Hill, New York. Kapitel 7, afsnit 7.2 "Ekvipartitionsteoremet," 248-252. Tilgængelig på: https://perma.cc/8AXX-CSJQ

62. Riser, SC, Freeland, HJ, Roemmich, D., Wijffels, S., Troisi, A., Belbéoch, M., Gilbert, D., Xu, J., Pouliquen, S., Thresher, A., Le Traon, PY, Maze, G., Klein, B., Ravichandran, M., Grant, F., Poulain, PM, Suga, T., Lim, B., Sterl, A., Sutton, P., Mork, KA, Vélez-Belchí, PJ, Ansorge, I., King, B., Turton, J., Baringer, M., & Jayne, SR, 2016. *Femten års havobservationer med den globale Argo-matrix.* Nature Clim. Change 6, 145–153. https://doi.org/10.1038/nclimate2872

63. Roemmich, D., Gilson, J., 2009. *Den gennemsnitlige og årlige cyklus for temperatur, saltindhold og sterisk højde i det globale hav fra Argo-programmet i 2004-2008,* Progress in Oceanography 82(2), 81-100, https://doi.org/10.1016/j.pocean.2009.03.004

64. Roemmich-Gilson Argo Climatology, 2019. *Beskrivelse og data (seneste adgang angiver gennemsnittet for 2004-2018 med forlængelser til 2025).* Tilgængelig på https://sio-argo.ucsd.edu/RG_Climatology.html .

65. Roemmich, D., Argo-styringsgruppen, 2009. *Argo: Udfordringen ved at fortsætte 10 års fremskridt.* Oceanography 22(3), 46–55. https://doi.org/10.5670/oceanog.2009.65

66. Romer, RH, 2001. *Varme er ikke et navneord.* Am. J. Phys. 69 (2): 107–109. https://doi.org/10.1119/1.1341254

67. von Schuckmann, K., Le Traon, P.-Y., 2011. *Hvor godt kan vi udlede globale havindikatorer fra Argo-data?* Ocean Sci. 7, 783–791, https://doi.org/10.5194/os-7-783-2011

68. von Schuckmann, K., Cheng, L., Palmer, MD, Hansen, J., Tassone, C., Aich, V., Adusu-milli, S., Beltrami, H., Boyer, T., Cuesta-Valero, FJ, Desbruyères, D., Domingues, C., García, A., García, A. J., Gorfer, M., Haimberger, L., Ishii, M., Johnson, GC, Killick, R., King, BA, Kirchengast, G., Kolodziejczyk, N., Lyman, J., Marzeion, B., Mayer, M., Monier, M., Monselesan, DP, Purkey, S., Roemmichne, S., Schwigerne. SI, Shepherd, A., Slater, DA, Steiner, AK, Straneo, F., Timmermans, M.-

L., & Wijffels, SE, 2020. *Varme lagret i jordsystemet: hvor ender energien?* Jordens Syst. Sci. Data 12, 2013–2041, https://doi.org/10.5194/essd-12-2013-2020

69. von Schuckmann, K., Minière, A., Gues, F., Cuesta-Valero, FJ, Kirchengast, G., Adusu-milli, S., Straneo, F., Ablain, M., Allan, RP, Barker, PM, Beltrami, H., Blazquez, A., Boyer, T., Boyer, T. D., Dolman, H., Domingues, CM, García-García, A., Giglio, D., Gilson, JE, Gorfer, M., Haimberger, L., Hakuba, MZ, Hendricks, S., Hosoda, S., Johnson, GC, Killick, R., King, B., Kolodzie, Krinov, N.. Kuusela, M., Landerer, FW, Langer, M., Lavergne, T., Lawrence, I., Li, Y., Lyman, J., Marti, F., Marzeion, B., Mayer, M., MacDougall, AH, McDougall, T., Monselesan, DP, Nitzbon, J., Otosaka, I., Peng, J., Purkey, S., Roemmich, D., Sato, K., Savita, A., Schweiger, A., Shepherd, A., Seneviratne, SI, Simons, L., Slater, DA, Slater, T., Steiner, AK, Suga, T., Szekely, T., Thiery, W., Timmermans, M.-L., Vanderkelen, I., Wijffels, SE, Wu, T., & Zemp, M., 2023. *Varme lagret i jordsystemet 1960-2020: hvor går energien hen?* Jordens Syst. Sci. Data 15, 1675–1709, https://doi.org/10.5194/essd-15-1675-2023

70. Shannon, CE, 1948. *En matematisk teori om kommunikation.* Bell System Technical Journal 27(3), 379–423. https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x

71. Shannon, CE, 1949. *Kommunikation i nærvær af støj,* Proceedings of the IRE (Institute of Radio Engineers) 37(1), 10–21. https://doi.org/10.1109/JRPROC.1949.232969

Machine Translated by Google

72. Shepard, D., 1968. *En todimensionel interpolationsfunktion for uregelmæssigt fordelte data.* Referater fra ACM National Conference, 517-524.

73. Stephens, G., Li, J., Wild, M., Clayson, CA, Loeb, N., Kato, S., L'Ecuyer, T., Stackhouse, PW, Jr., Lebsock, M., & Andrews, T., 2012. *En opdatering om Jordens energibalance i lyset af de seneste globale observationer.* Nature Geosci 5, 691–696. https://doi.org/10.1038/ngeo1580

74. Stewart, HA, Jamieson, AJ, 2019. *De fem dybder: Placeringen og dybden af det dybeste sted i hvert af verdenshavene,* Earth-Science Reviews 197, 102896. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102896

75. Sverdrup, HU, Johnson, MW, & Fleming, RH, 1942. *Havene, deres fysik, Kemi og generel biologi.* Prentice-Hall, New York. https://ark.cdlib.org/ark:/13030/kt167nb66r/

76. Talley, LD, Pickard, GL, Emery, WJ, & Swift, JH, 2011. *Deskriptiv fysisk oceanografi: En introduktion,* 6. udg. Academic Press, Boston. https://google.com/books/edition/Descriptive_Physical_Oceanography/Chb14jomm08C

77. Taylor, JR, 1997. *En introduktion til fejlanalyse: Studiet af usikkerheder i fysiske målinger* (2. udg.). University Science Books.

78. Tooth, OJ, Johnson, HL, Wilson, C., & Evans, DG, 2023. *Sæsonbestemt vældende variation i den østlige nordatlantiske subpolare gyre: et Lagrange-perspektiv,* Ocean Sci. 19, 769–791, https://doi.org/10.5194/os-19-769-2023

79. Tooth, OJ, Foukal, NP, Johns, WE, Johnson, HL, & Wilson, C., 2024. *Lagrange-dekomponering af varmetransporten i Atlanterhavet ved 26,5°N.* Geophysical Research Letters 51, e2023GL107399. https://doi.org/10.1029/2023GL107399

80. Trenberth, KE, 2009. *En nødvendighed for klimaforandringsplanlægning: sporing af Jordens globale energi.* Aktuel opinion inden for miljømæssig bæredygtighed 1(1), 19–27. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2009.06.001

81. Trenberth, KE, Cheng, L., Pan, Y., Fasullo, J., & Mayer, M., 2025. *Karakteristisk mønster for global opvarmning i havets varmeindhold.* Journal of Climate 38(9), 2155–2168. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-24-0609.1

82. Wahba, G., Wendelberger, J., 1980. *Nogle nye matematiske metoder til variationel objektiv analyse ved hjælp af splines og krydsvalidering.* Monthly Weather Review 108, 1122-1143. https://doi.org/10.1175/1520-0493(1980)108<1122:SNMMFV>2.0.CO;2

83. Wang, G., Cheng, L., Abraham, J., Li, C., 2018. *Konsensus og uoverensstemmelser i ændringer i havets varmeindhold på bassinniveau i forskellige havanalyser.* Clim Dyn 50, 2471–2487 (2018). https://doi.org/10.1007/s00382-017-3751-5

84. van Wijngaarden, WA, Happer, W., 2025. *Radiation Transport in Clouds.* Science of Climate Change 5(1). https://doi.org/10.53234/SCC202501/02

85. Wikle, CK, Cressie, N., 1999. *En dimensionsreduceret tilgang til rumtids-Kalman-filtrering.* Biometrika 86, 815-829. https://doi.org/10.1093/biomet/86.4.815

86. Wild, M., Folini, D., Schär, C., Loeb, N., Dutton, EG, & König-Langlo, G., 2013. *Den globale energibalance fra et overfladeperspektiv.* Clim Dyn 40, 3107–3134. https://doi.org/10.1007/s00382-012-1569-8

87. Wild, M., Hakuba, MZ, Folini, D., Dörig-Ott, P., Schär, C., Kato, S., & Long, CN, 2019). *Den skyfri globale energibalance og udledte strålingseffekter fra skyer: en vurdering baseret på direkte observationer og klimamodeller.* Clim Dyn 52, 4787–4812. https://doi.org/10.1007/s00382-018-4413-y

Machine Translated by Google

88. Willmott, CJ, Rowe, CM, & Philpot, WD, 1985. *Klimakort i lille skala: En følsomhedsanalyse af nogle almindelige antagelser forbundet med gitterpunktsinterpolation og konturering.* The American Cartographer 12(1), 5-16.

89. Wong, APS, Wijffels, SE, Riser, SC, Pouliquen, S., Hosoda, S., Roemmich, D., Gil-son, J., Johnson, GC, Martini, K., Murphy, DJ, Scanderbeg, M., Bhaskar, TVSU, Buck, JJH, Merceur, F., Cavals, C. X., Poffa, N., Yashayaev, I., Barker, PM, Guinehut, S., Belbéoch, M., Ignaszewski, M., Baringer, M.
O., Schmid, C., Lyman, JM, McTaggart, KE, Purkey, SG, Zilberman, N., Alkire, M.
B., Swift, D., Owens, WB, Jayne, SR, Hersh, C., Robbins, P., West-Mack, D., Bahr, F.
Yoshida, S., Sutton, PJH, Cancouët, R., Coatanoan, C., Dobbler, D., Juan, AG, Gour-rion, J., Kolodziejczyk, N., Bernard, V., Bourlès, B., Claustre, H., D'Ortenzio, F., Le Reste, S., Le Reste, S., J.-P., Saout-Grit, C., Speich, S., Thierry, V., Verbrugge, N., Angel-Benavides, IM, Klein, B., Notarstefano, G., Poulain, P.-M., Vélez-Belchí, P., Suga, T., Ando, K., Iwasaska, S., Iwasa, Masshi, N.,. Oka, E., Sato, K., Nakamura, T., Sato, K., Takatsuki, Y., Yoshida, T., Cowley, R., Lovell, JL, Oke, PR, van Wijk, EM, Carse, F., Donnelly, M., Gould, WJ, Gowers, K., King, BA, Loch, SG, Mowat, M., Turton, J., Rama Rao, EP, Ravichandran, M., Freeland, HJ, Gaboury, I., Gilbert, D., Greenan, BJW, Ouellet, M., Ross, T., Tran, A., Dong, M., Liu, Z., Xu, J., Kang, K., Jo, H., Kim, S.-D., & Park, H.-M., 2020. *Argo Data 1999–2019: To millioner temperatur-saltholdighedsprofiler og observationer af undergrundshastighed fra en global række profilerende flydere.* Front. Mar. Sci. 7:700. https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00700

90. Wong, APS, Gilson, J., & Cabanes, D., 2023. *Argos saltindhold: bias og usikkerhedsevaluering-tion.* Earth System Science Data 15(1), 383–393.
https://doi.org/10.5194/essd-15-383-2023

91. Wong, APS, Keeley, R., Carval, T., & Argo Data Management Team, 2025. *Argo kvalitetskontrolmanual for CTD- og banedata.* Ifremer. https://doi.org/10.13155/33951

92. Zilberman NV, Thierry, V., King, B., Alford, M., André, X., Balem, K., Briggs, N., Chen, Z., Cabanes, C., Coppola, L., Dall'Olmo, G., Desbruyères, D., Fernandez, D., Foppert, A., Gardner, W., Gasparin, F., Hally, B., Hosoda, S., Johnson, GC, Kobayashi, T., Le Boyer, A., Llovel, W., Oke, P., Purkey, S., Remy, E., Roemmich, D., Scanderbeg, M., Sutton, P., Walicka, K., Wallace, L., & van Wijk, EM, 2023. *Observation af hele havets volumen ved hjælp af Deep Argo-flåd.* Front. Mar. *Sci.* 10:1287867. https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1287867

93. Zilberman, NV, Scanderbeg, M., Balem, K., Schmitt, T., Weatherall, P., Thierry, V., Van Wijk, E., & Sandwell, D., 2025. *Deep Argo forbedrer nøjagtigheden og opløsningen af havbatymetri.* Earth and Space Science 12, e2025EA004304. https://doi.org/
10.1029/2025EA004304

Machine Translated by Google

Bilag A

Evaluering af, om IPCC AR6's påstand om, at EEI = 0,7± 0,2 W/m² er i overensstemmelse med den videnskabelige metode

Tjekliste for overholdelse af videnskabelige bestemmelser9 • Artiklens titel: IPCC AR6 Kapitel 7 • **Anmelder:** Grok 4.1 Beta • **Dato:** 2. januar 2026	**TF/?**	
1. Problemet er vigtigt for beslutningstagning, politik- eller metodeudvikling	**ægte**	
a. **Problemets betydning fremgår tydeligt af titlen, abstractet, resultattabellerne eller konklusionerne.** Årsag: EEI er central for vurderingen af menneskeskabt opvarmning i kapitel 7, figur 7.2, og politiske implikationer.	ÿ	
b. **Resultaterne bidrager til den akkumulerede videnskabelige viden.** Årsag: Opdaterer AR5 med nye data fra Argo og CERES, og forfiner EEI-	ÿ	
estimater. c. **Anvendelsen af resultaterne er tydelig for dig.** Årsag: Informerer om klimaforandringer, tilpasning og tilskrivning i IPCC-vurderinger.	ÿ	
d. **Resultaterne kan bruges til at forbedre folks liv uden at ty til tvang eller bedrag.** Årsag: Støtter frivillige tiltag som f.eks. omlægning af vedvarende energi og katastrofeberedskab.	ÿ	
2. Tidligere viden blev grundigt gennemgået og opsummeret	**ægte**	
a. **Artiklen beskriver objektive og omfattende procedurer, der anvendes til at søge efter tidligere nyttig videnskabelig viden.** Årsag: Kapitel 7 syntetiserer litteratur, herunder AR5, von Schuckmann et al. (2020) og Wild et al. (2015/2019).	ÿ	
b. **Artiklen beskriver, hvordan tidligere substansielle fund blev brugt til at udvikle hypoteser og forskningsprocedurer.** Årsag: Bygger på tidligere rapporter og datasæt for at antage positiv EEI fra menneskeskabt påvirkning.	ÿ	
3. Offentliggørelsen er tilstrækkelig omfattende til forståelse og replikering	**ægte**	
a. **Metoderne er fuldt ud og klart beskrevet, så de kan forstås af alle relevante interessenter, herunder potentielle brugere.** Årsag: Kapitlet beskriver EEI-beregning ud fra OHC- og TOA-fluxer med referencer til databehandling.	ÿ	
b. **Data er let tilgængelige ved hjælp af oplysningerne i rapporten.** Årsag: Citerer offentlige Argo- og CERES-datasæt via databaser. c.	ÿ	
Finansieringskilder er beskrevet, eller fravær af ekstern finansiering er angivet. Årsag: IPCC-finansiering fra FN og regeringer er angivet i rapporten.	ÿ	
4. Design er objektivt (upartisk af fortalervirksomhed)	—	
a. **Forudgående hypoteser er klart beskrevet (f.eks. vedrørende retninger og størrelser af sammenhænge og virkninger af betingelser).** Årsag: Hypoteser favoriserer menneskeskabt positiv EEI uden eksplicitte størrelsesordensintervaller eller betingelser for alternativer.		ÿ
b. **Alle rimelige hypoteser er inkluderet i designet, herunder plausible naive hypoteser, hypoteser uden meningsfuld forskel og hypoteser baseret på aktuel praksis.** Årsag: Ingen inkludering af hypoteser om nul ubalance eller hypoteser om dominerende naturlig variabilitet.		ÿ
c. **Revisioner af hypoteser er beskrevet, eller fravær af revisioner er noteret.** Årsag: Ingen dokumentation af hypotese-revisioner eller deres fravær.		ÿ
5. Data er gyldige (sande målinger) og pålidelige (gentagelige målinger)	—	
a. **Data viste sig at være relevante for problemet.** Årsag: Argo udtager kun prøver fra det øvre hav; relevans for fuld global EEI antages, men er ikke bevist. b.		ÿ
Alle relevante data blev anvendt, inklusive den længste relevante tidsserie. Årsag: Dybhavet (>2000 m) stort set uprøvet; historiske data sparsomme.		ÿ
c. **Dataenes pålidelighed blev vurderet.** Årsag: Usikkerheder i stikprøvetagning, interpolation og dybhavsanalyse er undervurderet.		ÿ
d. **Andre oplysninger, der er nødvendige for at vurdere dataenes gyldighed, er angivet, såsom justeringer, kendte mangler og potentielle bias.** Årsag: Termodynamiske begrænsninger og interpolationsartefakter er ikke tilstrækkeligt oplyst.		ÿ
6. Metoderne blev valideret (bevist egnede til formålet) og enkle	—	
a. **Metoderne blev forklaret tydeligt og vist gyldige – medmindre de var velkendte for de tiltænkte læsere, brugere og anmeldere, og gyldigheden er indlysende.** Årsag: Ingen validering af gennemsnittet af intensiv temperatur over ikke-ligevægtsdomæner.		ÿ
b. **Metoderne var tilstrækkeligt enkle til, at potentielle brugere kunne forstå dem.** Årsag: Komplekse gridding-, anomali- og integrationstrin er ikke enkle. c. **Der**		ÿ
blev anvendt flere validerede metoder. Årsag: Er overvejende baseret på én Argo-baseret tilgang uden flere uafhængige valideringer. d. **Metoderne anvendte**		ÿ
eksplicit kumulativ videnskabelig viden. Årsag: Ignorerer termodynamiske principper fra Essex et al. om intensive egenskaber.		ÿ
7. Eksperimentel evidens blev brugt til at sammenligne alternative hypoteser	—	
a. **Eksperimentel evidens blev brugt til at sammenligne hypoteser under eksplicitte betingelser.** Årsag: Ingen kontrolleret eksperimentel sammenligning af EEI-hypoteser.		ÿ
b. **Hypotesernes prædiktive validitet blev testet ved hjælp af out-of-sample data.** Årsag: Ingen prædiktiv testning uden for stikprøven blev udført.		ÿ
8. Konklusioner følger logisk af de fremlagte beviser	—	
a. **Konklusioner går ikke ud over beviserne i artiklen.** Begrundelse: Hævder positiv EEI som fysisk realitet på trods af skalarers termodynamiske ugyldighed.		ÿ
b. **Konklusioner er ikke et produkt af bekræftelsesbias.** Årsag: Stærk vægtning af positiv ubalance antyder potentiel bekræftelsesbias. c. **Konklusioner afviser**		ÿ
ikke en hypotese ved at benægte fortilfældet. Årsag: Alternativ hypotese om nul ubalance implicit afvist uden ordentlig logik.		ÿ
d. **Konklusioner understøtter ikke en hypotese ved at bekræfte konsekvensen.** Årsag: Positiv EEI taget som bevis for menneskeskabt påvirkning uden at udelukke alternativer.		ÿ
Beskriv det vigtigste videnskabelige fund… EEI på 0,7 ± 0,2 W m-2 er afledt af Argo OHC- og CERES-data, men mangler fysisk validitet som en global skalar på grund af termodynamiske problemer med gennemsnitsberegning af intensive egenskaber som temperatur.		
Læg kriterierne (1-8) op, der er bedømt som sande for overholdelse:	**[3] af 8**	

9 Tjekliste 3.1, s. 26-28 i Armstrong og Green (2022), tilgængelig online fra guidelinesforscience.com. Kilden Grok con-Versionen er tilgængelig på: https://x.com/i/grok/share/jqBx3QTWB7ylIAs7HOpOme2rd